

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-19864

(P2005-19864A)

(43) 公開日 平成17年1月20日(2005.1.20)

(51) Int. Cl. ⁷

H01L 21/027

G03F 7/20

F I

H01L 21/30

G03F 7/20

514C

521

テーマコード(参考)

5F046

審査請求 有 請求項の数 52 O L (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願2003-185389(P2003-185389)
 (22) 出願日 平成15年6月27日(2003.6.27)

(71) 出願人 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100076428
 弁理士 大塚 康徳
 (74) 代理人 100112508
 弁理士 高柳 司郎
 (74) 代理人 100115071
 弁理士 大塚 康弘
 (74) 代理人 100116894
 弁理士 木村 秀二
 (72) 発明者 中野 一志
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ヤノン株式会社内
 Fターム(参考) 5F046 BA04 CC01 DA07 DA27

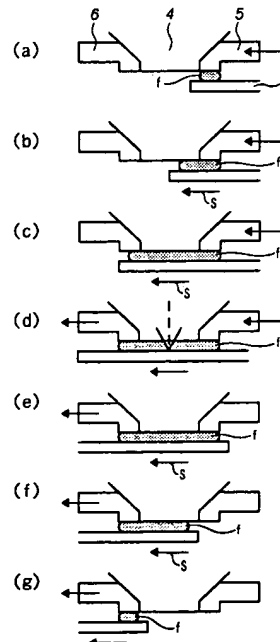
(54) 【発明の名称】露光装置及び露光方法

(57) 【要約】

【課題】液浸法を適用した露光装置において、投影光学系の最終面と基板との間隙をより確実に液体で満たす。

【解決手段】露光装置は、投影光学系4の周辺かつ前記投影光学系から見て第1方向に配置された液体供給ノズル5を備える。基板ステージ10が基板9を第1方向の反対方向である第2方向に向かって移動させる際に、液体供給ノズル5を通して基板9の表面上に液体が供給され該表面上に液膜fが形成される。ここで、基板9の移動に伴って液膜fが連続的に広がるように、液体供給ノズル5を通して基板9の表面上に液体が連続的に供給される。

【選択図】図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

原版のパターンを投影光学系を介して基板に投影し転写する露光装置であって、
基板を保持し移動させる基板ステージと、
液体供給ノズルを有し前記基板の表面上に液体を供給して前記表面上に液膜を形成する液体供給部と、
を備え、前記液体供給ノズルは、前記投影光学系の周辺かつ前記投影光学系から見て第 1 方向に配置されており、
前記液体供給部は、前記基板ステージが前記基板を前記第 1 方向の反対方向である第 2 方向に向かって移動させる際に、前記基板の移動に伴って前記液膜が連続的に広がるように、前記液体供給ノズルを通して前記基板の表面上に液体を連続的に供給するように構成されていることを特徴とする露光装置。 10

【請求項 2】

前記液体供給部は、前記基板が移動することにより前記投影光学系の最終面と前記基板との間隙に前記液体が進入し該間隙が前記液体で満たされるように、前記液体供給ノズルを通して前記基板の表面上に液体を供給することを特徴とする請求項 1 に記載の露光装置。

【請求項 3】

液体回収ノズルを有する液体回収部を更に備え、前記液体回収ノズルは、前記投影光学系の外側かつ前記投影光学系から見て前記第 2 方向に配置されており、
前記液体回収部は、前記基板の移動に伴って広がる液膜を構成する液体を前記液体回収ノズルを通して回収するように構成されていることを特徴とする特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の露光装置。 20

【請求項 4】

前記投影光学系を取り囲むように配置された複数の液体回収ノズルを有する液体回収部を更に備え、前記液体回収部は、前記基板上に形成された液膜を構成する液体を前記複数の液体回収ノズルの全部又は一部を通して回収することを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の露光装置。

【請求項 5】

前記液体供給部は、前記投影光学系からみて互いに異なる方向に配置された複数の液体供給ノズルを有し、前記基板ステージが前記基板を移動させる際に、前記複数の液体供給ノズルのうち少なくとも前記投影光学系から見て前記基板の移動方向の反対方向に位置する液体供給ノズルを通して前記基板の表面に液体を供給することを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の露光装置。 30

【請求項 6】

前記液体供給部は、前記投影光学系からみて互いに異なる方向に配置された複数の液体供給ノズルを有し、前記基板ステージが前記基板を移動させる際に、前記複数の液体供給ノズルのうち少なくとも前記投影光学系から見て前記基板の移動方向の反対方向に位置する液体供給ノズルを通して前記基板の表面に液体を供給し、
前記液体回収部は、前記複数の液体回収ノズルのうち少なくとも前記投影光学系から見て前記基板の移動方向に位置する液体回収ノズルを通して前記基板上に形成された液膜を構成する液体を回収することを特徴とする請求項 4 に記載の露光装置。 40

【請求項 7】

前記複数の液体回収ノズルは、前記複数の液体供給ノズルの外側に配置されていることを特徴とする請求項 4 又は請求項 6 に記載の露光装置。

【請求項 8】

前記液体供給部は、前記投影光学系から出た露光光についての前記基板の移動方向に直交する方向の幅と同一かそれよりも大きい幅で液体を前記基板の表面に供給するように構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 7 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 9】

前記液体供給ノズルの出口における液体の平均的な流速を μ 、前記投影光学系の最終面と 50

前記基板との間隔を d 、前記基板の移動速度を v 、前記基板の移動速度に沿った前記液体供給ノズルの出口の幅を w としたときに、

$$\mu \geq d \cdot v / w$$

を満たすように、前記液体供給部が液体の供給を制御することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 8 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 10】

前記液体供給部は、前記基板の移動速度に基づいて、前記液体供給ノズルを通して前記基板に供給する液体の流量を制御することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 8 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 11】

前記液体供給ノズルの出口と前記ウエハステージとの間隔は、前記投影光学系の最終面と前記ウエハステージとの間隔と実質的に等しいことを特徴とする請求項 1 乃至請求項 10 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 12】

前記液体供給ノズルの出口と前記ウエハステージとの間隔は、前記投影光学系の最終面と前記ウエハステージとの間隔よりも大きいことを特徴とする請求項 1 乃至請求項 10 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 13】

前記液体回収ノズルの入口と前記ウエハステージとの間隔は、前記投影光学系の最終面と前記ウエハステージとの間隔と実質的に等しいことを特徴とする請求項 3 又は請求項 4 に記載の露光装置。

【請求項 14】

前記液体回収ノズルの入口と前記ウエハステージとの間隔は、前記投影光学系の最終面と前記ウエハステージとの間隔よりも小さいことを特徴とする請求項 3 又は請求項 4 に記載の露光装置。

【請求項 15】

前記液体供給ノズルは、前記投影光学系の最終面に隣接して配置されており、前記最終面と前記液体供給ノズルとが隣接する部分において前記最終面の端は直線形状を有することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 14 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 16】

前記投影光学系の最終面は、前記第 1 方向よりも、前記第 1 方向に直交する方向の長さが長いことを特徴とする請求項 1 乃至請求項 14 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 17】

前記液体回収ノズルは、前記投影光学系の最終面に隣接して配置されており、前記最終面と前記液体回収ノズルとが隣接する部分において前記最終面の端は直線形状を有することを特徴とする請求項 3 又は請求項 4 に記載の露光装置。

【請求項 18】

前記投影光学系の最終面が矩形形状を有することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 17 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 19】

前記投影光学系の最終面から連続的に延び、かつ前記基板ステージに対向した対向面を有する連続部材を更に備え、前記液体供給ノズルの出口が前記対向面に設けられていることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 18 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 20】

前記投影光学系の最終面から連続的に延び、かつ前記基板ステージに対向した対向面を有する連続部材を更に備え、前記液体供給ノズルの出口及び前記液体回収ノズルの入口が前記対向面に設けられていることを特徴とする請求項 3 又は請求項 4 に記載の露光装置。

【請求項 21】

前記液体供給部は、前記液体供給ノズルとして 1 又は複数列に配列されたノズル群を有し、かつ、前記ノズル群からの液体の供給及び停止を個別に制御するための開閉装置を有す

10

20

30

40

50

ることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 20 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 22】

前記開閉装置は、前記ノズル群の各ノズルを使った液体の供給及び停止を各ノズルの直下に前記基板が存在するか否かに応じて制御することを特徴とする請求項 21 に記載の露光装置。

【請求項 23】

原版のパターンを投影光学系を介して基板に投影し転写する露光装置であって、
基板を保持し移動させる基板ステージと、
前記基板ステージ上に載置される前記基板と実質的に等しい高さの面を有する平面板と、
前記投影光学系の最終面と前記基板又は前記平面板との間に液体を供給する液体供給部と 10
、
前記投影光学系の最終面と前記基板又は前記平面板との間に存在する液体を回収する液体回収部と、
を備えることを特徴とする露光装置。

【請求項 24】

前記平面板は、前記基板ステージ上に載置される前記基板の少なくとも一部に隣接するように配置されていることを特徴とする請求項 23 に記載の露光装置。

【請求項 25】

前記平面板には、前記平面板上の液体を吸引するための吸引口が設けられていることを特徴とする請求項 23 又は請求項 24 に記載の露光装置。 20

【請求項 26】

前記平面板には、前記平面板上に液体を供給するための供給口が設けられていることを特徴とする請求項 23 又は請求項 24 に記載の露光装置。

【請求項 27】

前記平面板には、前記平面板上に液体を供給し及び前記平面板上の液体を吸引するための流路が開口していることを特徴とする請求項 23 又は請求項 24 に記載の露光装置。

【請求項 28】

前記平面板を前記投影光学系の最終面の下に移動させる駆動機構を更に備えることを特徴とする請求項 23 乃至請求項 27 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 29】

前記基板ステージは、前記平面板を前記投影光学系の最終面の下に駆動することができるように構成されていることを特徴とする請求項 23 乃至請求項 27 のいずれか 1 項に記載の露光装置。 30

【請求項 30】

原版のパターンを投影光学系を介して基板に投影し転写する露光装置であって、
基板を保持し移動させる基板ステージと、
前記投影光学系の最終面から連続的に延びた液接触面を有する連続部材と、
前記液接触面に設けられた出口を通して前記最終面及び前記液接触面と前記基板との間に液体を供給する液体供給部と、
を備えることを特徴とする露光装置。 40

【請求項 31】

前記最終面及び前記液接触面と前記基板との間に存在する液体を回収する液体回収部を更に備えることを特徴とする請求項 30 に記載の露光装置。

【請求項 32】

前記液体回収部は、前記液接触面に設けられた入口を通して前記最終面及び前記液接触面と前記基板との間に存在する液体を回収するように構成されていることを特徴とする請求項 30 に記載の露光装置。

【請求項 33】

前記連続部材は、前記投影光学系を支持する鏡筒の一部であることを特徴とする請求項 30 乃至請求項 32 のいずれかに記載の露光装置。 50

【請求項 34】

更に、前記基板ステージ側に突出した突出部を前記液接触面の端部に備えることを特徴とする請求項 30 に記載の露光装置。

【請求項 35】

前記突出部が前記基板ステージに対向している面に設けられた入口を通して、前記最終面及び前記液接触面と前記基板との間に存在する液体を回収する液体回収部を更に備えることを特徴とする請求項 34 に記載の露光装置。

【請求項 36】

原版のパターンを投影光学系を介して基板に投影し転写する露光装置であって、
基板を保持し移動させる基板ステージと、
前記投影光学系の最終面から延びた連続部材と、
前記最終面の周囲に配置された液体供給口を通して前記最終面と前記基板との間隙に液体を供給する液体供給部と、
前記最終面の周囲に配置された液体回収口を通して前記最終面と前記基板との間隙から液体を回収する液体回収部と、
前記液体供給口及び前記液体回収部を取り囲むように配置され、前記基板の周囲を覆うように気体を吹き出す気体吹き出し口と、
を備えることを特徴とする露光装置。

【請求項 37】

前記吹き出し口の周囲を取り囲むように配置され、前記気体吹き出し口から吹き出された気体を回収する気体回収口を更に備えることを特徴とする請求項 36 に記載の露光装置。

【請求項 38】

基板ステージを移動させながら前記原版のパターンを前記基板に転写する走査露光装置として構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 37 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 39】

前記液体供給ノズルを通して前記基板に液体を供給する動作を、ショット領域を切り替えるために基板を移動させる際に開始するように構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 37 のいずれか 1 項に記載の露光装置。

【請求項 40】

原版のパターンを投影光学系を介して基板に投影し転写する露光方法であって、
前記投影光学系の周辺かつ前記投影光学系から見て第 1 方向に配置された液体供給ノズルを通して前記基板の表面上に液体を供給して前記基板の表面上に液膜を形成し、
前記基板を前記第 1 方向の反対方向である第 2 方向に向かって移動させながら、前記基板の移動に伴って前記液膜が連続的に広がるように前記供給ノズルを通して前記基板の表面上に液体を連続的に供給する、
ことを特徴とする露光方法。

【請求項 41】

前記基板を移動させている間に前記原版のパターンを前記基板にスリット光によって転写することを特徴とする請求項 40 に記載の露光方法。

【請求項 42】

前記液膜の形成を、前記基板への前記原版のパターンの転写に先立って、又は、複数の前記転写の間に実施することを特徴とする請求項 40 に記載の露光方法。

【請求項 43】

原版のパターンを投影光学系を介して基板ステージ上の基板に投影し転写する露光方法であって、
前記投影光学系の最終面と前記基板との間に液体を満たした状態で前記原版のパターンを前記基板に転写する転写工程と、
前記投影光学系の最終面の下に液体が満たされた状態で、前記最終面の下に平板を移動させる移動工程と、

を含むことを特徴とする露光方法。

【請求項 4 4】

前記移動工程の後に、前記投影光学系の最終面の下に前記平面板が位置する状態で前記基板を前記基板ステージ上から取り出す取り出し工程を更に含むことを特徴とする請求項 4 3 に記載の露光方法。

【請求項 4 5】

前記取り出し工程の後に、前記基板ステージ上に新しい基板を載置する工程を更に含むことを特徴とする請求項 4 4 に記載の露光方法。

【請求項 4 6】

投影光学系を介して原版のパターンを基板に投影する露光装置であって、
前記基板を保持し移動させる基板ステージと、
前記基板ステージ上の前記基板に対向するノズルを有し、前記基板上に液体を供給する液体供給部とを備え、
前記基板ステージによる前記基板の移動と、前記液体供給部による前記基板上への液体供給とにより、前記投影光学系と前記基板との間に液膜が形成されるように構成されていることを特徴とする露光装置。

10

【請求項 4 7】

前記液体供給部により供給された液体が実質的に一様な厚みの液膜を形成するように前記基板と対向して配置される対向部材を備えることを特徴とする請求項 4 6 に記載の露光装置。

20

【請求項 4 8】

投影光学系を介して原版のパターンを基板に投影する露光装置であって、
前記基板を保持し移動させる基板ステージと、
前記投影光学系と前記基板ステージ上の前記基板との間に液膜を形成する液膜形成部と、
前記液膜形成部により形成された液膜を前記基板に代わって維持する平面板とを備えることを特徴とする露光装置。

【請求項 4 9】

投影光学系を介して原版のパターンを基板に投影する露光装置であって、
前記基板を保持し移動させる基板ステージと、
前記投影光学系と前記基板ステージ上の前記基板との間隙に液体を供給する液体供給部と、
前記間隙から液体を回収する液体回収部と、
前記間隙を取り囲むように前記基板に対し気体を吹き出す気体吹き出し部とを備えることを特徴とする露光装置。

30

【請求項 5 0】

投影光学系を介して原版のパターンを基板に投影する露光方法であって、
基板ステージ上の前記基板に対向するノズルを有する液体供給部により前記基板上に液体を供給するとともに、前記基板ステージにより前記基板を移動させることにより、前記投影光学系と前記基板との間に液膜を形成する工程を有する
ことを特徴とする露光方法。

40

【請求項 5 1】

投影光学系を介して原版のパターンを基板に投影する露光方法であって、
前記投影光学系と前記基板との間に液膜を形成する液膜形成工程と、
前記液膜形成工程において形成された液膜を維持しつつ前記基板を平面板に置換する置換工程と
を有することを特徴とする露光方法。

【請求項 5 2】

請求項 4 6 乃至 4 9 のいずれか 1 項に記載の露光装置を用いてデバイスを製造することを特徴とするデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

50

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、例えば半導体デバイスあるいは液晶表示デバイス等のデバイスを製造する際に、感光剤が塗布された基板上に原版のパターンを転写する露光装置及び露光方法に係り、特に、液浸法を用いた露光装置及び露光方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

L S Iあるいは超L S Iなどの極微細パターンで構成される半導体デバイスの製造工程において、マスクに形成されたパターンを感光剤が塗布された基板上に縮小投影して転写する縮小型投影露光装置が使用されている。半導体デバイスにおける集積密度の向上に伴い
10
パターンの更なる微細化が要求され、レジストプロセスの発展と同時に露光装置の微細化への対応がなされてきた。

【0003】

露光装置の解像力を向上させる手段としては、露光波長を短くする方法と、投影光学系の開口数（NA）を大きくする方法とが一般的である。

【0004】

露光波長については、365nmのi線から248nm付近の発振波長を有するKrFエキシマレーザ光に移行しつつあり、更には193nm付近の発振波長を有するArFエキシマレーザの開発が進んでいる。更に、157nm付近の発振波長を有するフッ素（F₂）エキシマレーザの開発も行なわれている。
20

【0005】

一方、これらとは全く別な解像力向上技術として液浸法を用いた投影露光方法が注目されつつある。従来は、投影光学系の最終面と露光対象基板（例えばウエハ）面との間の空間は気体で満たされていたが、液浸法では、この空間を液体で満たして投影露光を実施する。液浸法の利点は、例えば、投影光学系とウエハとの間の空間に提供される液体を純水（屈折率1.33）とし、ウエハに結像する光線の最大入射角が液浸法と従来法で等しいと仮定した場合において、同一波長の光源を用いても、液浸法の解像力が従来法の1.33倍に向上することである。これは従来法の投影光学系のNAを1.33倍にすることと等価であり、液浸法によれば、従来法では不可能なNA=1以上の解像力を得ることが可能である。
30

【0006】

この投影光学系の最終面とウエハ面との間の空間を液体で満たす方法として、大別して二つの方法が提案されている。

【0007】

一つの方法は、投影光学系の最終面とウエハ全体を液槽の中に配置する方法であり、この方法を用いた露光装置が特許文献1に開示されている。

【0008】

もう一つは、投影光学系とウエハ面とで挟まれた空間だけに液体を流すローカルフィル法であり、この方法を用いた露光装置が特許文献2に開示されている。

【0009】

【特許文献1】

特開平06-124873号公報

【特許文献2】

再公表特許W099/49504号公報

【0010】

【発明が解決しようとする課題】

特許文献1に開示された方法では、ウエハを高速で動かすと液体が周囲に飛散するので、それを回収する装備が必要であり、また、液面が波立つことにより発生しうる微少な気泡が結像性能に悪影響を与えるという欠点がある。また、この方法では装置が複雑かつ大型化すると考えられる。
50

【0011】

一方、特許文献2に開示された方法では、ウエハと投影光学系の間隙が狭い場合に、この間隙にノズルを向けて液体を供給しても、ノズルから放出された液体がうまくこの間隙に流れ込まないで気体に残り、このために十分な液浸ができないという不具合があった。また、うまく流れ込まない液体は、投影レンズ外周に衝突して外に逃げてしまい、この周囲に逃げた液体を回収するための装置が必要となり、露光装置が大がかりになってしまうという欠点があった。また、仮に狭い間隙に液体を流し込むことができるとしても、この間隙の内部における流動抵抗が外に比べて大きいためにノズルから放出される液体の流速が、間隙を流れる流速に比べて非常に早い。したがって、ノズル先端部や、液が投影レンズ外周に衝突する箇所で、液体の流速が極端に変化し、流れが大きく乱れ、気泡が発生する。この気泡が投影レンズとウエハとの間に入り込んで、光の透過を妨げ、露光装置としての結像性能に悪影響を与えうる。

10

【0012】

更に、特許文献2に開示された方法では、少なくともウエハを交換する度に、ウエハ上に供給された液体を回収する必要があるが、この液体の回収のために装置の生産性を犠牲にせざるを得なかった。しかも、ウエハ上の液体を回収することは、投影レンズ下面に満たされていた液体を回収することである。したがって、投影レンズ下面は、少なくともウエハを交換する度に、一部は液滴で濡れ、他の一部は薄い液体の膜で覆われ、更に他の一部は直接外気に触れた状態となりうる。そして、供給された液体に比べると、投影レンズやウエハを取り囲む環境中にはより多くの不純物が存在しており、投影レンズ下面の表面に付着している液体が、外気に含まれている不純物を取り込んでしまう。一方、投影レンズ下面に付着した液体自身は外気に向かって蒸発するため、元々液体中に含まれていた不純物や外気中から取り込んだ不純物が徐々に液中で濃縮され、結果として、投影レンズ表面に不純物が吸着して曇りを生じさせたり、完全に液体が蒸発・乾燥して残渣として不純物が投影レンズ表面に残って曇りを生じさせたりする可能性があった。

20

【0013】

本発明は、上記の種々の課題に鑑みてなされたものであり、液浸法を適用した露光装置及び露光方法の実用性を高めること、例えば、投影光学系の最終面と基板との間隙をより確実に液体で満たすこと、又は、投影光学系の最終面がそれを取り巻く雰囲気中に晒される可能性を低減すること、又は、露光装置の構造を単純化し、露光装置を小型化することなどを目的とする。

30

【0014】

【課題を解決するための手段】

本発明の第1の側面は、原版のパターンを投影光学系を介して基板に投影し転写する露光装置に係り、該装置は、基板を保持し移動させる基板ステージと、液体供給ノズルを有し前記基板の表面上に液体を供給して前記表面上に液膜を形成する液体供給部とを備える。ここで、前記液体供給ノズルは、前記投影光学系の周辺かつ前記投影光学系から見て第1方向に配置されており、前記液体供給部は、前記基板ステージが前記基板を前記第1方向の反対方向である第2方向に向かって移動させる際に、前記基板の移動に伴って前記液膜が連続的に広がるように、前記液体供給ノズルを通して前記基板の表面上に液体を連続的に供給するように構成されている。

40

【0015】

本発明の好適な実施の形態によれば、前記液体供給部は、前記基板が移動することにより前記投影光学系の最終面と前記基板との間隙に前記液体が進入し該間隙が前記液体で満たされるように、前記液体供給ノズルを通して前記基板の表面上に液体を供給することが好ましい。

【0016】

本発明の好適な実施の形態によれば、本発明の露光装置は、液体回収ノズルを有する液体回収部を更に備えることが好ましい。ここで、前記液体回収ノズルは、前記投影光学系の外側かつ前記投影光学系から見て前記第2方向に配置されており、前記液体回収部は、前

50

記基板の移動に伴って広がる液膜を構成する液体を前記液体回収ノズルを通して回収するように構成されていることが好ましい。

【0017】

本発明の好適な実施の形態によれば、本発明の露光装置は、前記投影光学系を取り囲むように配置された複数の液体回収ノズルを有する液体回収部を更に備えることが好ましく、前記液体回収部は、前記基板上に形成された液膜を構成する液体を前記複数の液体回収ノズルの全部又は一部を通して回収することが好ましい。

【0018】

本発明の好適な実施の形態によれば、前記液体供給部は、前記投影光学系からみて互いに異なる方向に配置された複数の液体供給ノズルを有し、前記基板ステージが前記基板を移動させる際に、前記複数の液体供給ノズルのうち少なくとも前記投影光学系から見て前記基板の移動方向の反対方向に位置する液体供給ノズルを通して前記基板の表面に液体を供給することが好ましい。

10

【0019】

本発明の好適な実施の形態によれば、前記液体供給部は、前記投影光学系からみて互いに異なる方向に配置された複数の液体供給ノズルを有し、前記基板ステージが前記基板を移動させる際に、前記複数の液体供給ノズルのうち少なくとも前記投影光学系から見て前記基板の移動方向の反対方向に位置する液体供給ノズルを通して前記基板の表面に液体を供給し、前記液体回収部は、前記複数の液体回収ノズルのうち少なくとも前記投影光学系から見て前記基板の移動方向に位置する液体回収ノズルを通して前記基板上に形成された液膜を構成する液体を回収することが好ましい。

20

【0020】

本発明の好適な実施の形態によれば、前記複数の液体回収ノズルは、前記複数の液体供給ノズルの外側に配置されていることが好ましい。

【0021】

本発明の好適な実施の形態によれば、前記液体供給部は、前記投影光学系から出た露光光についての前記基板の移動方向に直交する方向の幅と同一かそれよりも大きい幅で液体を前記基板の表面に供給するように構成されていることが好ましい。

【0022】

本発明の好適な実施の形態によれば、前記液体供給ノズルの出口における液体の平均的な流速を μ 、前記投影光学系の最終面と前記基板との間隔を d 、前記基板の移動速度を v 、前記基板の移動速度に沿った前記液体供給ノズルの出口の幅を w としたときに、

30

$$\mu \geq d \cdot v / w$$

を満たすように、前記液体供給部が液体の供給を制御することが好ましい。

【0023】

本発明の好適な実施の形態によれば、前記液体供給部は、前記基板の移動速度に基づいて、前記液体供給ノズルを通して前記基板に供給する液体の流量を制御することが好ましい。

【0024】

本発明の好適な実施の形態によれば、前記液体供給ノズルの出口と前記ウエハステージとの間隔は、前記投影光学系の最終面と前記ウエハステージとの間隔と実質的に等しいことが好ましい。或いは、前記液体供給ノズルの出口と前記ウエハステージとの間隔は、前記投影光学系の最終面と前記ウエハステージとの間隔よりも大きくてもよい。

40

【0025】

本発明の好適な実施の形態によれば、前記液体回収ノズルの入口と前記ウエハステージとの間隔は、前記投影光学系の最終面と前記ウエハステージとの間隔と実質的に等しいことが好ましい。或いは、前記液体回収ノズルの入口と前記ウエハステージとの間隔は、前記投影光学系の最終面と前記ウエハステージとの間隔よりも小さくてもよい。

【0026】

本発明の好適な実施の形態によれば、前記液体供給ノズルは、前記投影光学系の最終面に

50

隣接して配置されており、前記最終面と前記液体供給ノズルとが隣接する部分において前記最終面の端は直線形状を有し得る。

【0027】

本発明の好適な実施の形態によれば、前記投影光学系の最終面は、前記第1方向よりも、前記第1方向に直交する方向の長さが長く構成されてもよい。

【0028】

本発明の好適な実施の形態によれば、前記液体回収ノズルは、前記投影光学系の最終面に隣接して配置されており、前記最終面と前記液体回収ノズルとが隣接する部分において前記最終面の端は直線形状を有し得る。

【0029】

本発明の好適な実施の形態によれば、前記投影光学系の最終面が矩形形状を有しうる。

【0030】

本発明の好適な実施の形態によれば、本発明の露光装置は、前記投影光学系の最終面から連続的に延び、かつ前記基板ステージに対向した対向面を有する連続部材を更に備え、前記液体供給ノズルの出口が前記対向面に設けられていることが好ましい。

【0031】

本発明の好適な実施の形態によれば、本発明の露光装置は、前記投影光学系の最終面から連続的に延び、かつ前記基板ステージに対向した対向面を有する連続部材を更に備え、前記液体供給ノズルの出口及び前記液体回収ノズルの入口が前記対向面に設けられていることが好ましい。

【0032】

本発明の好適な実施の形態によれば、前記液体供給部は、前記液体供給ノズルとして1又は複数列に配列されたノズル群を有し、かつ、前記ノズル群からの液体の供給及び停止を個別に制御するための開閉装置を有してもよい。ここで、前記開閉装置は、前記ノズル群の各ノズルを使った液体の供給及び停止を各ノズルの直下に前記基板が存在するか否かに応じて制御することが好ましい。

【0033】

本発明の第2の側面は、原版のパターンを投影光学系を介して基板に投影し転写する露光装置に係り、該装置は、基板を保持し移動させる基板ステージと、前記基板ステージ上に載置される前記基板と実質的に等しい高さの面を有する平面板と、前記投影光学系の最終面と前記基板又は前記平面板との間に液体を供給する液体供給部と、前記投影光学系の最終面と前記基板又は前記平面板との間に存在する液体を回収する液体回収部とを備える。

【0034】

本発明の好適な実施の形態によれば、前記平面板は、前記基板ステージ上に載置される前記基板の少なくとも一部に隣接するように配置されていることが好ましい。

【0035】

本発明の好適な実施の形態によれば、前記平面板には、前記平面板上の液体を吸引するための吸引口が設けられていること、及び／又は、前記平面板上に液体を供給するための供給口が設けられていることが好ましい。或いは、前記平面板には、前記平面板上に液体を供給し及び前記平面板上の液体を吸引するための流路が開口していることが好ましい。

【0036】

本発明の好適な実施の形態によれば、本発明の露光装置は、前記平面板を前記投影光学系の最終面の下に移動させる駆動機構を更に備えることが好ましい。

【0037】

本発明の好適な実施の形態によれば、前記基板ステージは、前記平面板を前記投影光学系の最終面の下に駆動することができるよう構成されていることが好ましい。

【0038】

本発明の第3の側面は、原版のパターンを投影光学系を介して基板に投影し転写する露光装置に係り、基板を保持し移動させる基板ステージと、前記投影光学系の最終面から連続的に延びた液接触面を有する連続部材と、前記液接触面に設けられた出口を通して前記最

10

20

30

40

50

終面及び前記液接触面と前記基板との間に液体を供給する液体供給部とを備える。

【0039】

本発明の好適な実施の形態によれば、前記最終面及び前記液接触面と前記基板との間に存在する液体を回収する液体回収部を更に備えることが好ましい。

【0040】

本発明の好適な実施の形態によれば、前記液体回収部は、前記液接触面に設けられた入口を通して前記最終面及び前記液接触面と前記基板との間に存在する液体を回収するように構成されていることが好ましい。

【0041】

本発明の好適な実施の形態によれば、前記連続部材は、前記投影光学系を支持する鏡筒の一部であることが好ましい。 10

【0042】

本発明の好適な実施の形態によれば、本発明の露光装置は、更に、前記基板ステージ側に突出した突出部を前記液接触面の端部に備えることが好ましい。

【0043】

本発明の好適な実施の形態によれば、本発明の露光装置は、前記突出部が前記基板ステージに対向している面に設けられた入口を通して、前記最終面及び前記液接触面と前記基板との間に存在する液体を回収する液体回収部を更に備えることが好ましい。

【0044】

本発明の第4の側面は、原版のパターンを投影光学系を介して基板に投影し転写する露光装置に係り、該装置は、基板を保持し移動させる基板ステージと、前記投影光学系の最終面から延びた連続部材と、前記最終面の周囲に配置された液体供給口を通して前記最終面と前記基板との間隙に液体を供給する液体供給部と、前記最終面の周囲に配置された液体回収口を通して前記最終面と前記基板との間隙から液体を回収する液体回収部と、前記液体供給口及び前記液体回収部を取り囲むように配置され、前記基板の周囲を覆うように気体を吹き出す気体吹き出し口とを備える。 20

【0045】

本発明の好適な実施の形態によれば、本発明の露光装置は、前記吹き出し口の周囲を取り囲むように配置され、前記気体吹き出し口から吹き出された気体を回収する気体回収口を更に備えることが好ましい。 30

【0046】

本発明の第1～第4の側面に係る露光装置は、基板ステージを移動させながら前記原版のパターンを前記基板に転写する走査露光装置として構成されうる。

【0047】

本発明の第1～第4の側面に係る露光装置はまた、前記液体供給ノズルを通して前記基板に液体を供給する動作を、ショット領域を切り替えるために基板を移動させる際に開始するように構成された露光装置としても構成されうる。

【0048】

本発明の第5の側面は、原版のパターンを投影光学系を介して基板に投影し転写する露光方法に係り、該方法は、前記投影光学系の周辺かつ前記投影光学系から見て第1方向に配置された液体供給ノズルを通して前記基板の表面上に液体を供給して前記基板の表面上に液膜を形成し、前記基板を前記第1方向の反対方向である第2方向に向かって移動させながら、前記基板の移動に伴って前記液膜が連続的に広がるように前記供給ノズルを通して前記基板の表面上に液体を連続的に供給する。 40

【0049】

本発明の好適な実施の形態によれば、本発明の露光方法は、前記基板を移動させている間に前記原版のパターンを前記基板にスリット光によって転写する方法として実施されうる。

【0050】

本発明の好適な実施の形態によれば、本発明の露光方法はまた、前記液膜の形成を、前記基板への前記原版のパターンの転写に先立って、又は、複数の前記転写の間に実施する方法としても実施されうる。

【0051】

本発明の第6の側面は、原版のパターンを投影光学系を介して基板ステージ上の基板に投影し転写する露光方法に係り、該方法は、前記投影光学系の最終面と前記基板との間に液体を満たした状態で前記原版のパターンを前記基板に転写する転写工程と、前記投影光学系の最終面の下に液体が満たされた状態で、前記最終面の下に平面板を移動させる移動工程とを含む。

【0052】

本発明の好適な実施の形態によれば、本発明の露光方法は、前記移動工程の後に、前記投影光学系の最終面の下に前記平面板が位置する状態で前記基板を前記基板ステージ上から取り出す取り出し工程を更に含むことが好ましい。また、本発明の露光方法は、前記取り出し工程の後に、前記基板ステージ上に新しい基板を載置する工程を更に含むことが好ましい。

【0053】

本発明の第7の側面は、投影光学系を介して原版のパターンを基板に投影する露光装置であって、前記基板を保持し移動させる基板ステージと、前記基板ステージ上の前記基板に対向するノズルを有し、前記基板上に液体を供給する液体供給部とを備え、前記基板ステージによる前記基板の移動と、前記液体供給部による前記基板上への液体供給とにより、前記投影光学系と前記基板との間に液膜が形成されるように構成されていることを特徴とする露光装置である。

【0054】

本発明の好適な実施の形態によれば、本発明の露光装置は、前記液体供給部により供給された液体が実質的に一様な厚みの液膜を形成するように前記基板と対向して配置される対向部材を備えることが好ましい。

【0055】

本発明の第8の側面は、投影光学系を介して原版のパターンを基板に投影する露光装置であって、前記基板を保持し移動させる基板ステージと、前記投影光学系と前記基板ステージ上の前記基板との間に液膜を形成する液膜形成部と、前記液膜形成部により形成された液膜を前記基板に代わって維持する平面板とを備えることを特徴とする露光装置である。

【0056】

本発明の第9の側面は、投影光学系を介して原版のパターンを基板に投影する露光装置であって、前記基板を保持し移動させる基板ステージと、前記投影光学系と前記基板ステージ上の前記基板との間隙に液体を供給する液体供給部と、前記間隙から液体を回収する液体回収部と、前記間隙を取り囲むように前記基板に対し気体を吹き出す気体吹き出し部とを備えることを特徴とする露光装置である。

【0057】

本発明の第10の側面は、投影光学系を介して原版のパターンを基板に投影する露光方法であって、基板ステージ上の前記基板に対向するノズルを有する液体供給部により前記基板上に液体を供給するとともに、前記基板ステージにより前記基板を移動させることにより、前記投影光学系と前記基板との間に液膜を形成する工程を有することを特徴とする露光方法である。

【0058】

本発明の第11の側面は、投影光学系を介して原版のパターンを基板に投影する露光方法であって、前記投影光学系と前記基板との間に液膜を形成する液膜形成工程と、前記液膜形成工程において形成された液膜を維持しつつ前記基板を平面板に置換する置換工程とを有することを特徴とする露光方法である。

【0059】

本発明の第12の側面は、上記第7乃至第9の側面のいずれか1つの露光装置を用いてデ

10

20

30

40

50

バイスを製造することを特徴とするデバイス製造方法である。

【0060】

【発明の実施の形態】

本発明の露光装置は、例えば、露光光として紫外光を用い、投影光学系と基板（例えば、ウエハ）間を液体で満たす液浸法が適用されるあらゆる露光方法及び露光装置に有用である。そのような露光装置には、例えば、基板を静止させた状態で該基板に原版のパターンを投影転写する露光装置や、基板と原版とを同期スキャンしながら該基板に該原版のパターンをスリット光によりスキャン露光する露光装置が含まれる。

【0061】

以下、本発明の好適な実施形態を例示的に説明する。図1は、本発明の好適な実施形態の構成を概略的に示す図である。図1において、ArFエキシマレーザやF₂レーザなどの露光光源（不図示）から射出された光が照明光学系2に提供される。照明光学系2は、露光光源から提供された光を用いて、レチクル（原版）1の一部をスリット光（スリットを通過したような断面形状を有する光）により照明する。スリット光によってレチクル1を照明している間、レチクル1を保持しているレチクルステージ（原版ステージ）3とウエハ（基板）9を保持しているウエハステージ（基板ステージ）10は、一方が他方に同期しながらスキャン移動する。このような同期スキャンを通して、結果としてレチクル1上のパターン全体が投影光学系4を介してウエハ9上に連続的に結像し、ウエハ9表面に塗布されたレジストを感光させる。

【0062】

レチクルステージ3やウエハステージ10の二次元的な位置は、参照ミラー11とレーザー干渉計12によってリアルタイムに計測される。この計測値に基づいて、ステージ制御装置13は、レチクル1（レチクルステージ3）やウエハ9（ウエハステージ10）の位置決めや同期制御を行う。ウエハステージ10には、ウエハ9の上下方向（鉛直方向）の位置や回転方向、傾きを調整、変更或いは制御する駆動装置が内蔵されており、露光時は、この駆動装置により投影光学系4の焦点面にウエハ9上の露光領域が常に高精度に合致するようにウエハステージ10が制御される。ここで、ウエハ9上の面の位置（上下方向位置と傾き）は、不図示の光フォーカスセンサーによって計測され、ステージ制御装置13に提供される。

【0063】

露光装置本体は、不図示の環境チャンバの中に設置されており、露光装置本体を取り巻く環境が所定の温度に保たれる。レチクルステージ3、ウエハステージ10、干渉計12を取り巻く空間や、投影レンズ4を取り巻く空間には、更に個別に温度制御された空調空気が吹き込まれて、環境温度が更に高精度に維持される。

【0064】

この実施形態では、投影光学系4とウエハ9との間の空間或いは間隙を液体で満たす液浸法は、ウエハ9の上方かつ投影光学系4の近傍に配置された液体供給ノズル5と、投影光学系4を挟んで液体供給ノズル5の反対側に配置された液体回収ノズル6によって実現される。

【0065】

以下、この実施形態において実施される液浸法について詳細に説明する。露光中にウエハ9をスキャンする方向の上流側であって投影光学系4の近傍に液体供給ノズル5が配置されている。ここで、スキャン方向の上流側とは、例えば、ウエハを右から左に向かって左方向（第2方向）に移動させる場合について説明すると、その反対方向（第1方向）である右側である。すなわち、スキャン方向（第2方向）を矢印で示した場合に、矢印の始点側の方向（第1方向）が上流側である。投影光学系4を挟んで液体供給ノズル5の反対側（すなわち、スキャン方向の下流側）には、液体回収ノズル6が配置されている。

【0066】

液体供給ノズル5は、供給管16を介して液体供給装置7と接続されており、同様に液体回収ノズル6は、回収管17を介して液体回収装置8と接続されている。液体供給装置7

は、例えば、液体を貯めるタンク、液体を送り出す圧送装置、液体の供給流量の制御を行う流量制御装置を含みうる。液体供給装置 7 には、更に、液体の供給温度を制御するための温度制御装置を含むことが好ましい。液体回収装置 8 は、例えば、回収した液体を一時的に貯めるタンク、液体を吸い取る吸引装置、液体の回収流量を制御するための流量制御装置を含みうる。液浸制御装置 18 は、更に、ウェハステージ 10 の現在位置、速度、加速度、目標位置、移動方向といった情報をステージ制御装置 13 から受けて、これらの情報に基づいて、液浸の開始や中止、流量等の制御指令を液体供給装置 7 や液体回収装置 8 に与える。

【0067】

液浸用の液体は、露光光の吸収が少ないものから選ばれ、更に石英や蛍石などの屈折系光学素子とほぼ同程度の屈折率を有することが望まれる。具体的には、液浸用の液体としては、純水、機能水、フッ化液（例えば、フルオロカーボン）などが候補として掲げられる。液浸用の液体は、予め脱気装置を用いて溶存ガスが十分に取り除かれたものが好ましい。これは、気泡の発生を抑制し、また、気泡が発生しても即座に液体中に吸収できるからである。例えば、環境気体中に多く含まれる窒素、酸素を対象とし、液体に溶存可能なガス量の 80% 以上を除去すれば、十分に気泡の発生を抑制することができる。もちろん、不図示の脱気装置を露光装置に備えて、常に液体中の溶存ガスを取り除きながら液体供給装置 7 に液体を供給してもよい。脱気装置としては、例えば、ガス透過性の膜を隔てて一方に液体を流し、もう一方を真空にして液体中の溶存ガスをその膜を介して真空中に追い出す、真空脱気装置が好適である。

【0068】

次に、図 2 を参照しながら、投影光学系 4 とウェハ 9 の間に液を満たす工程を説明する。

【0069】

まず、ウェハ 9 が静止した状態又は移動している状態で、液体供給ノズル 5 よりウェハ 9 上に、例えばほぼ一定流量で液体 f を供給し、液体供給ノズル 5 の下面とウェハ 9 の上面に液体を密着させることで、十分な液膜を形成する（図 2（a））。

【0070】

次に、供給ノズル 5 より液体を供給し続けたまま、ウェハ 9 の移動を開始し又は更に移動させ、（図 2（a））で形成した液膜を途切れさせることなく、ウェハ 9 の移動を利用して投影光学系 4 下面まで液膜を導く（図 2（b）、図 2（c））。

【0071】

ウェハ 9 が更に移動して露光開始位置に至るとスリット光によるスキャン露光が開始される（図 2（d））。スリット露光中においても、図 2（c）と同様に、供給ノズル 5 より液体を供給し続け、更に、投影光学系 4 に対してスキャン方向 S の下流側（図 2 では、左側）より流出する液体を回収ノズル 6 で回収することにより、ウェハ 9 と投影光学系 4 の間が安定して液で満たされる（図 2（d））。

【0072】

ウェハ 9 が更に移動して露光終了位置に至るとスリット光による露光が終了する（e）。スリット光による露光が終了すると、液体供給ノズル 5 からの液体の供給を停止し（図 2（e））、ウェハ 9 をスキャン方向 S に移動させながら、ウェハ 9 上に残った液体を液体回収ノズル 9 によって回収する（図 2（f）、図 2（g））。

【0073】

以上のように、ウェハ 9 の移動に伴って液膜が広がるように、ウェハ 9 を移動させながらウェハ 9 の表面上に連続的に液体を供給する方法によれば、投影光学系 4 の最終面とウェハ 9 との間隙を連続的な液膜（途切れない液膜）で満たすことができる。そして、このような方法によれば、投影光学系 4 とウェハ 9 との間隙にノズルを向けて該間隙に液体を供給する特許文献 2 に記載された方法に比べて、投影光学系とウェハとの間隙が小さい場合においてもその間隙に確実に液膜を形成することができ、しかも、その液膜中の存在する気泡を低減することができる。また、このような方法によれば、液膜はウェハに対する相対速度が遅いので、液体回収ノズル 6 を通して確実に回収されうる。したがって、外部

への液体の飛散が効果的に防止されうる。

【0074】

上記のような液体の供給・回収のシーケンスは、露光ショット領域毎（レチクル像の1回の転写毎）に実施されてもよいし、ウエハ上の全部又は一部の露光ショット領域を1つの単位として実施されてもよい。後者の場合、露光ショット領域間でのウエハのステップ移動時においても液体の供給及び回収を実施してもよいし、ステップ移動時には液体の供給及び回収を停止してもよい。

【0075】

上記のような液浸は、ウエハを静止させた状態で露光を実施する露光装置（いわゆるステッパー等）にも適用することができる。この場合は、例えば、露光ショット領域間でウエハをステップ移動させる際に、次に露光すべき露光ショット領域と投影光学系4の下面との間に液膜を広げるように液体の供給及び回収を制御すればよい。

【0076】

次に、図3～図7を参照しながら液体供給ノズル5と液体回収ノズル6の具体的な構成及び配置の好適な例を説明する。

【0077】

図3は、図1の露光装置をウエハ9より上方で切断し、見下ろした平面図である。投影光学系4の最終面4sを挟んで、ウエハ9の移動方向S（投影光学系4から見て+X方向）の上流側（投影光学系4から見て-X方向）に液体供給ノズル5が、下流側（投影光学系4から見て+X方向）に液体回収ノズル6が配置されている。ウエハの移動方向は、露光装置がスキャナー（走査露光装置）である場合には、露光時のウエハのスキャン方向と同じにすることが安定して液膜を形成する上で望ましい。

【0078】

液体供給ノズル5は、その下面（下端）が投影光学系4の最終面（下面）4sとほぼ同じ高さかそれよりも若干高くなるように配置されることが好ましく、これによって、空気層を排除しながら液体が投影レンズ4の最終面に十分密着しながらウエハとともに移動することができ、液膜への気泡の混入を防ぐことができる。

【0079】

液体回収ノズル6は、その下面（下端）が投影光学系4の最終面（下面）4sとほぼ同じ高さかそれよりも若干低くなるように配置されることが好ましく、これにより液体の取りこぼし（完全に回収できないこと）を防止しながら、ウエハ上の液体を効率よく回収することができる。

【0080】

液体供給ノズル5の液体を吐出する出口の総長L1は、少なくとも露光光束が通る領域の長さLeと同じかそれより長いことが好ましく、投影光学系4の最終面4sの幅と同じかそれより長いことが更に好ましい。液体回収ノズル6の長さL2は、液体供給ノズル5の液体吐出口の長さL1と同じかそれよりも長いことが好ましく、投影光学系最終面4sの幅と同じかそれより長いことが更に好ましい。

【0081】

供給ノズル5からウエハ9と投影光学系4の下面との間の空間（液浸空間）に供給する液体の流量Vは、式（1）に従って決定することが望ましい。

【0082】

$$V \geq L1 \cdot d \cdot v \quad \dots \text{式(1)}$$

ここで、dは、ウエハと投影光学系最終面（下面）との間の液を満たす部分の間隔である。vは、液浸時のウエハの移動速度であり、スキャン露光時にはウエハのスキャン速度が適用される。

【0083】

さらに、液体供給ノズル5から液浸空間に供給する液体の流量Vは、供給ノズル5の液体吐出口での液体の平均流速を μ とすると、式（2）で示される。

【0084】

10

20

30

40

$$V = L_1 \cdot w \cdot \mu \quad \dots \text{式 (2)}$$

ここで、 w は、液体吐出口の幅である。式(1)と式(2)より式(3)が導かれる。

【0085】

$$\mu \geq d \cdot v / w \quad \dots \text{式 (3)}$$

即ち、より一般的には、供給ノズル5の液体吐出口における液体の平均流速（即ち吐出口単位面積あたりの供給流量）が、投影光学系最終面4sとウエハ9との間隙の間隔 d とウエハステージ10の移動速度 v との積を吐出口の幅 w で除した値と等しいかそれより大きくなるように、供給する液体の流量を決定すればよい。ここで、 w を厳密に定義すると、対応する液体供給ノズル5におけるウエハ9の移動方向に沿った液体吐出口の幅の最小値となる。

10

【0086】

ウエハの端部から露光を開始することを可能にするためには、ウエハの端部が露光領域（露光光が照射される領域）に到達する前に投影光学系4の最終面（下面）4sの下に液膜を十分成長させる必要がある。そこで、図3に示す構成例では、ウエハ9の外側に、ウエハ9とほぼ同じ高さの同面板（平面板）19を設けることにより、ウエハ9の外側の領域においても液膜を形成することを可能にしている。

【0087】

図4は、液体供給ノズル5及び液体回収ノズル6の構成及び配置に関する第2の構成例を示す図である。図4に示す第2の構成例は、液体供給ノズル5と液体回収ノズル6の口が連続部材20a、20bの面（ウエハステージ又はウエハに対向する対向面）内に設けら

20

【0088】

連続部材20a及び20bの底面（対向面）は、投影光学系最終面4sとほぼ同じ高さである。また、投影光学系最終面4sの外周端は、投影光学系4の鏡筒の外周部と密接するように配置されている。このような構成によれば、ウエハ9と液体供給ノズル5の底面との間隔、ウエハ9と液体回収ノズル6の底面との間隔、及びウエハ9と投影光学系最終面4sとの間隔をほぼ同一にし、更に、液体供給ノズル5の底面、投影光学系最終面4s、液体回収ノズル6の底面を連続した面として構成することができる。

【0089】

投影光学系最終面4sから連続した面内に各ノズル5、6を配置した構成は、次のような利点を有する。液体供給ノズル5から供給された液体は、液体供給ノズル5が開口した連続部材20aの底面とウエハ9とに密着して液膜を形成する。この液膜は、ウエハ9とともに、連続部材20aの底面に対して連続して繋がった投影光学系最終面4sに向かって進む。したがって、この液膜は、投影光学系4の最終面4s、更には連続部材20bの底面にスムーズに進入することができる。このように、投影光学系最終面4sとそれに連続した連続部材20a、20bは、それらとウエハ9との間隙のほぼ全面を液体で満たすことを可能にする。

30

【0090】

また、液膜は常にその上面及び下面が平面と密着しながらウエハ9とともに移動するので、液膜を取り巻く環境（気体）との接触は実質的に液膜の側面のみとなる。したがって、液膜と気体との接触面積が小さく、更に液膜は、ほぼ一定の間隙を流れるために速度変化が少なく流れに乱れが起こりにくく、液膜中に気泡が発生しにくい。また、このことは液体中への気体の溶解を低減するため、温度や局所的な圧力変化に起因して液膜中に微少気泡が発生することを抑制することができる。

40

【0091】

連続部材20a、20bは、その底面（下面）が投影光学系4の最終面（下面）4sと連続している限り、薄板形状であってもよいし、ブロック形状であってもよいし、その他の形状を有してもよい。また、連続部材20a、20bは、ノズル5、6の底面及び／又は投影光学系4の鏡筒の底面と一体化した部分として構成されてもよい。

【0092】

50

図5は、液体供給ノズル5と液体回収ノズル6の構成及び配置に関する第3の構成例を示す図である。図5に示す第3の構成例は、液体供給ノズル5（5a、5b）と液体回収ノズル6（6a、6b）の双方を投影光学系最終面4sを挟んで両側に配置した点で、図4に示す第2の構成例と異なる。

【0093】

液体供給ノズル5a、5bは、相対的に投影光学系4の最終面4sに近い位置に投影光学系4を挟むように配置され、液体回収ノズル6a、6bは、相対的に投影光学系4の最終面4sから遠い位置、すなわち液体供給ノズル5a、5bの外側に配置されうる。

【0094】

図5に示す矢印の+X方向にウエハ9が移動している際は、液体供給ノズル5aからウエハ9と最終面4sとの間隙に液体を供給し、液体供給ノズル5bからの供給は停止する。このとき、液体回収ノズル6bにより殆どの液体は回収されうる。しかしながら、液体供給ノズル5aから供給される液体の流量によっては反対方向にも液体が流れる可能性がある。そこで、液体回収ノズル6bの他、液体回収ノズル6aも動作させ、逆方向に流れる液も回収することにより、液体の飛散やこぼれを防止することができる。このような効果を考慮すると、液体回収ノズルは、投影光学系最終面4sの周囲を取り囲むように全周に配置されることが好ましく、液体供給ノズルから液体が供給される際には常に液体回収ノズルを作動させることが好ましい。

【0095】

一方、図5に示す矢印の-X方向にウエハ9が移動している際は、上記とは逆に、液体供給ノズル5bより液体を供給し、5aからの液体の供給は停止する。これにより、ウエハの移動方向の正逆に関わらず、常にウエハ9と投影レンズ最終面4sとの間隙を液体で満たすことができる。また、双方のノズル5a、5bからの液体の供給を切り替えることで、ウエハの移動方向を反転させる際にも、液膜を途切れさせずに（液膜を分離させずに）、ウエハ9と投影レンズ最終面4sとの間隙を液体で満たすことができる。

【0096】

投影レンズ最終面4sの形状は円形である必要はない。例えば、ノズルに面する部分を直線とし、例えば図5のような俵形にすることにより、液体供給ノズル5a、5bと液体回収ノズル6a、6bをより露光光束の光路に近づけることができる。これにより、液体を満たすために必要な時間やウエハの移動距離を少なくすることができる。特にスキャナーの場合は、露光光束がウエハ面上でスリット形状であり、それに近接する投影レンズ最終面4sにおいてもスキャン方向に短くスキャン方向に直交する方向に長い断面形状の光束が使われる。そこで、このような光束の断面形状に合わせて、投影光学系4の最終面の形状をスキャン方向の幅が狭い俵型等の形状にすることができる。もちろん、投影光学系の最終面の形状は俵型に限られるものではなく、矩形や円環弧（円環の一部）の形状など、様々な形状にしうる。

【0097】

図6は、液体供給ノズル及び液体回収ノズルの構成及び配置に関する第4の構成例を示す図である。図6に示す第4の構成例では、投影光学系最終面4sを取り囲む周囲4辺にそれぞれ液体供給ノズル5a～5dを設け、更に、それらの外周を取り囲むように液体回収ノズル6a～6dを設けている。図中矢印+X方向にウエハが移動するときは、このウエハ移動方向における上流側に設けられた液体供給ノズル5aより液体を供給し、矢印-X方向にウエハが移動するときは、液体供給ノズル5bより液体を供給する。また、矢印+Y方向にウエハが移動するときには、供給ノズル5cから液体を供給し、矢印-Y方向にウエハが移動するときには、液体供給ノズル5dから液体を供給する。

【0098】

液体の回収は、ウエハの移動方向における下流側に配置された液体回収ノズルによって殆どが行われるため、対象となる回収ノズルのみを作動させる構成であってもよい。しかしながら、誤動作などの不測の事態に備えて、液体回収ノズル6a～6cは、この4つすべてを少なくとも液体を供給している間は同時に作動させた方が、液体の飛散やこぼれをよ

り確実に防止することができる。もちろん、複数の液体回収ノズルを配置する代わりに、投影光学系最終面 4 s の周囲を取り囲むように全周にわたった一つの液体回収ノズルを配置してもよい。液体供給ノズル 6 a ~ 6 c から供給する液体の流量は、式 (3) に従って決定すればよい。以上のような構成によれば、ウエハの移動方向は、X、Y 方向に制限されず、斜め方向への移動においても液膜の維持が可能となる。

【0099】

このように、投影光学系最終面 4 s を取り囲むように複数の液体供給ノズルを配置し、更にウエハ移動時には、その移動方向における上流（投影光学系から見て移動方向の反対側）に配置された液体供給ノズルから液体が供給されるように、供給に使用する液体供給ノズルを切り替えることにより、ウエハの移動方向によらず投影光学系最終面 4 s とウエハとの間隙を常に液体で満たすことが可能となる。その結果、スキャン露光中だけでなくウエハ面内でのステップ移動中やウエハの移動方向を変える際においても、常に液膜を途切れさせずに、ウエハ 9 と投影レンズ最終面 4 s の間を液体で満たしておくことができる。これにより、一枚のウエハの中で露光開始からウエハ全面の露光が完了するまで、投影光学系最終面 4 s とウエハ 9 との間隙を液膜を途切れさせることなく常に液体で満たすことが可能となる。その結果、ショット毎に液膜を形成する必要がなくなり、露光装置の生産性が大幅に向上する。

【0100】

図 7 は、液体供給ノズル及び液体回収ノズルの構成及び配置に関する第 5 の構成例を示す図である。この構成例では、液体供給ノズル 5 a ~ 5 h と液体回収ノズル 6 a ~ 6 h が、投影光学系最終面 4 s の外周を取り囲むように、円周上に並べられている。液体供給ノズルは、液体回収ノズルの内側に配置される。このように、各ノズルを円周上に配置することで、ウエハステージ 10 が斜めに移動する場合においても、その移動方向における上流にほぼ対応する液体供給ノズルから液体を供給し、少なくとも移動方向下流に位置する液体回収ノズルから液体を回収することで、投影光学系最終面とウエハとの間隙を液体で満たすことが可能となる。

【0101】

例えば、ウエハが矢印で示すように +X、+Y 方向の斜め 45° に移動する場合は、少なくとも液体供給ノズル 5 b と 5 c から液体を供給し、少なくとも液体回収ノズル 6 f と 6 g から液体を回収するように各ノズルを制御すればよい。このように、各ノズルを円周上に配置することによって、より柔軟にウエハの様々な移動方向に対応して液膜を形成することが可能になる。図 7 では、複数の分割された液体回収ノズルが示されているが、第 4 の構成例に関して説明したことと同様に、誤動作などの不測の事態に備えて、液体回収ノズル 6 a ~ 6 h のすべてを少なくとも液体を供給している間は同時に作動させた方が液体の飛散やこぼれをより確実に防止することができる。もちろん、複数の液体回収ノズルを配置する代わりに、投影光学系最終面 4 s の周囲を取り囲むように全周にわたった一つの液体回収ノズルを配置してもよい。

【0102】

ウエハと投影レンズ最終面 4 s との間隙が液体で満たされていない状態や、液体の満たし方が不完全で未だ間隙に気体が存在する場合には、これまで説明したように、ウエハの移動方向の上流側から液体を供給することが好ましい。しかしながら、完全にウエハ 9 と投影レンズ最終面 4 s との間隙が液体で満たされた後は、ウエハの移動方向に拘わらず、すべての液体供給ノズルから液体を供給してもよい。この場合、供給する液体の流量や回収流量が増え、ランニングコストが高くなる欠点がある反面、供給ノズルの切り替えを頻繁に行う必要がなくなるため、切り替えに要する時間がなくなり、露光装置の生産性が向上する。また、供給ノズルを高速で切り替える駆動装置が不要となり、更には液体供給装置を小型化できるという利点もある。このような液体の供給の制御は、図 7 に示す構成例に限られず、図 5、図 6 に示すノズルの構成にも適用することができ、この場合においても同様の効果を得ることができる。

【0103】

図 7 に示す構成例において、液体供給ノズルから供給する液体の流量については、基本的には、個々の液体供給ノズルに対してそれぞれ式 (3) を適用して決定すればよい。また、これを簡略化して、すべての液体供給ノズルから同一流量の液体を均一に供給することができる。この場合は、図 7 に示す構成例においては液体供給ノズルの吐出口の形状が露光光束の中心の周りに同状に配置されているので、ウエハの移動方向によらず液体供給口の幅を一定値 w' とし、式 (4) に従って総流量 V' を決定すればよい。

【0104】

$$V' \geq \pi \cdot D \cdot d \cdot v \quad \dots \text{式 (4)}$$

ここで、 π は円周率、 D は吐出口の平均直径、 d はウエハと投影光学系最終面との間隔、 v は液浸時のウエハの移動速度である。

10

【0105】

次に、本発明の他の好適な実施形態を図 8 と図 9 を参照しながら説明する。図 8 は、投影光学系最終面 4 s 及びその周辺に設けられた各ノズルの上方からウエハステージ 10 を見た平面図である。なお、本来の作図法によれば、各ノズル 5、6 の吹き出し口は、ウエハ 9 に対向するように設けられているため、上方から見た平面図では隠れ線（破線）によって表されるべきであるが、解りやすくするために実線で表現している。

【0106】

ウエハステージ上 10 に吸着されたウエハ 9 に隣接して平板 21 が設けられている。平板 21 は、その上面がウエハステージ 10 上に真空吸着などによって固定されるウエハ 9 の上面とほぼ同じ高さになるように、配置されている。投影光学系最終面 4 s の直下に平板 21 が位置している際に、ウエハ 9 をウエハステージ 10 上から回収し、及び、ウエハ 9 をウエハステージ 10 上に載置することができるように、不図示のウエハ搬送装置が配置されている。

20

【0107】

図 9 を参照しながら本実施形態の工程を説明する。図 9 は、図 8 の主要部の横断面図を用いて各部の挙動を工程順に示している。

【0108】

露光中は、必要に応じて液体供給ノズル 5 より液体が供給され、液体回収ノズル 6 により液体が回収されつつ、ウエハ 9 と投影光学系最終面 4 s との間隙が液体で常に満たされた状態に維持される（図 9 (a)）。一枚のウエハ 9 に対する一連の露光が終了した時点で、ウエハ 9 に隣接する平板 21 が投影光学系最終面 4 s の直下に位置するようにウエハステージ 10 を移動する（図 9 (b)）。ウエハステージ 10 を移動する際には液体供給ノズル 5 より液体を供給し、液体回収ノズル 6 より液体を回収し続けることにより、平板 21 が投影光学系最終面 4 s の下に位置した状態においても、投影光学系最終面 4 s の下は常に液体で満たされている。次に、この状態を維持しつつウエハステージ 10 上に吸着固定されている露光済みのウエハ 9 をウエハステージ 10 より不図示のウエハ収納部に回収する。更に、新しいウエハ 9' をウエハステージ 10 上に載置し、吸着固定させる（図 9 (c)）。

30

【0109】

そして、液体供給ノズル 5 から液体を供給し、液体回収ノズル 6 によって液体を回収しながらウエハステージ 10 を移動し、投影光学系最終面 4 s の下に常に液体を満たし続けながら、ウエハ 9' を投影光学系最終面 4 s の直下に送り込む（図 9 (d)）。

40

【0110】

このように、露光終了後においても液体の供給と回収を続けながら平板 21 を露光位置に移動させることで、ウエハ上の液体の殆どを回収することができる。したがって、特別な液体の回収動作をすることなく、ウエハの交換をスムーズに行うことができるため、露光装置の生産性を向上させることができる。更に、投影光学系最終面 4 s はウエハの交換に関わらず常に液体で満たされるため、環境雰囲気に含まれる不純物が直接的に投影光学系最終面 4 s に触れることがない。しかも、液体と空気との接触部が最小限に抑えられるため、液体中に取り込まれる不純物の量が最小限に抑えることができる。したがって、不

50

純物による投影光学系最終面 4 s の曇りを抑制することができる。

【0111】

逆に、ウエハ交換の度に液体を回収した場合には、投影光学系最終面 4 s の表面は、一時的に薄い液膜が付いた状態に置かれる。液体が純水などの場合には、環境中に含まれる無機成分や親水性の有機成分が純水の膜の中に取り入れられやすく、純水が蒸発したときには、無機成分や有機成分が投影光学系の表面に残存し、曇りの原因となる可能性が非常に高い。

【0112】

また、図 9 (b)、(c) に示すように、ウエハステージ 10 上のウエハを交換している最中には、投影光学系最終面 4 s と平板 21 との間に液膜が維持されている状態になっているが、この直前まで液膜はウエハ上に塗布された感光剤表面に接して露光を受けていたことになる。感光剤が露光される時には多かれ少なかれ感光剤に含まれていた成分がガス状物質となって放出され、その上面に接している液膜にこのガス状物質が溶け込んでしまう。

10

【0113】

露光直後の液膜にはこのガス状物質が溶け込んだ汚染された状態になっているため、次の露光開始前までに液膜を新しい液体に十分に置換した方がよい。さもなければ、溶け込んだ不純物によって液膜中の透過率が変化して露光量制御に悪影響を与え、線幅バラツキの増大など露光装置の生産性を悪化させる不具合が生じる可能性がある。更に、溶け込んだ不純物が過飽和の状態になって気泡として発生し結像不良が生じる懸念もある。液膜中に溶け込んだ不純物が露光によって化学反応を引き起こし、それが投影光学系最終面の曇りの原因となる可能性もある。そこで、以下では、このような問題とその解決方法について考える。

20

【0114】

液体供給ノズル 5 から絶えず新しい液体が供給され、液体回収ノズル 6 から絶えず回収されている状態であれば、置換速度が遅いとしても、一応液膜は新しい液体で置換されることになる。したがって、ウエハ 9 上あるいは平板 21 上において、ノズル 5、6 による供給と回収だけで次の露光に十分な液膜の純度が高められることもと考えられる。また、供給及び回収の流量を露光直後に大きくし、露光直前に元の流量に戻すことにより、液膜の純度をさらに改善することができる。この場合において、流量の変更とともにウエハ 9 及び平板 21 を移動させ、さらに流量の変更量に応じてウエハ 9 及び平板 21 の移動速度も変更した方が液膜の置換速度が上がる。ウエハ 9 又は平板 21 を往復又は回転運動させながら液体の供給・回収を行えば、連続的に液膜を置換することができるので更によい。

30

【0115】

このような供給流量と回収流量の増減をショット領域毎に実施してもよいし、ウエハ毎に実施してもよいし、必要に応じて実施する間隔やタイミングを変えられるようにしても良い。しかし、使用する感光剤の材質によっては露光をしていない状態でもアウトガスが発生するため、感光剤上に液膜が接触するだけで汚染が進行する場合もあり、更に必要な露光量に対して非常にアウトガスの多いのものもある。したがって、予想以上に液膜が汚染されやすい場合もある。

40

【0116】

そこで、より積極的に投影光学系最終面下の液膜を新しい液体と置換する別の方法として、図 8 のように平板 21 の中央などの適切な位置に液体吸引口 22 を設けてもよい。この吸引口 22 には不図示の吸引ポンプやシリンダーなどの吸引装置が接続されており、気体や液体を吸引することができる。即ち、図 10 に示すように、投影光学系最終面 4 s 直下に平板 21 が送り込まれた状態で、吸引口 22 から液体を回収すると同時に、液体供給ノズル 5 から供給される液体の流量を少なくとも吸引口 22 から吸引される量と同じ流量だけ増やす。これにより投影光学系最終面下の液膜の殆どは、外周方向（液体回収ノズル 6 方向）ではなく中央の吸引口 22 に向かう流れを持つこととなり、平板 21 が静止し

50

ている状態においても、この液膜を常に新しい液体で置換し続けることができる（図 10（b）、図 10（c））。

【0117】

以上のような構成により、投影光学系最終面下における液体の置換速度が飛躍的に向上する。また、汚染の懸念のある感光剤上ではなくステンレス鋼やフッ素樹脂等の化学的に汚染されにくく清浄度を保ちやすい材質を適用できる平面板 21 上で液膜の置換を行うので、非常に純度の高い液体で投影光学系最終面の下の間隙を満たすことができる。したがって、外気中に存在する不純物や感光剤表面から発生する不純物ガス成分が投影光学系最終面に与える曇りなどの影響を更に効果的に抑えることができる。

【0118】

図 9、図 10 に示すような平面板 21 上での液膜の置換は、ウエハ交換時に限定されるものではなく、一枚のウエハの一連の露光シーケンス中においても、定期・不定期に拘わらず、必要に応じて実施することができる。

【0119】

図 9、図 10 に示す構成例では、ウエハステージ上に平面板 21 を設け、ウエハステージと不図示のウエハ搬送装置との間でウエハを受け渡しする際に、投影光学系最終面 4 s 直下に平面板 21 が位置する。しかしながら、平面板 21 は、例えば、露光前に実施する不図示のオフアクシス顕微鏡による位置合わせ計測工程を行う際など、露光前後に必要な各種作業や露光装置の維持・管理に必要な各種作業を行う際においても、投影光学系最終面の直下に位置するように構成されてもよい。ここで、複数のウエハステージ位置において投影光学系最終面の直下に平面板 21 や吸引口 22 が必要な場合は、複数の平面板や吸引口をウエハステージ上に配置してもよい。もちろん、図 3 で示した同面板 19 のように、ウエハを取り囲むように平面板を配置してよく、この平面板に複数の吸引口を各種工程を行う際の投影光学系最終面の位置に合わせて設けてもよい。

【0120】

図 9、図 10 では、平面板 21 がウエハステージ 10 上に配置されているが、不図示の専用の駆動装置を設けて、平面板 21 をウエハステージ 10 から独立して移動できるように構成してもよい。ただし、この場合は、平面板 21 は、ウエハステージ 10 上に吸着固定されたウエハとの間に大きな間隙が形成されないように駆動されるべきである。例えば、図 9（a）から（b）の状態に移行する際や、図 9（c）から（d）の状態に移行する際には、ウエハステージ 10 と平面板 21 は、互いに隣接する位置関係を保つように連携しながら投影光学系最終面付近を移動するように駆動されるべきである。ここで、少なくともウエハと平面板 21 との間隙が投影光学系最終面の直下を通過する間は、平面板 21 の高さがウエハ上面とほぼ同じ高さに維持されるべきである。

【0121】

投影光学系最終面と平面板 21 との間に液膜を移動させた後は、平面板 21 についてはその位置を維持し、ウエハステージ 10 についてはその位置を任意に変更し、種々の工程を行うことができる。このように平面板 21 をウエハステージ 10 から独立して移動させる機構を設けることにより、ウエハステージ 10 が露光以外の種々の作業のために使用されている時間区間を利用して、投影光学系最終面の下を液体で満たし続けることができる利点がある。また、このような機構を設けることにより、複数の平面板や吸引口を設けたり、平面板を大きくしたりする必要がなくなるので、露光装置を小型化することができる。

【0122】

平面板 21 の適当な箇所に露光光の照度分布を計測するための照度ムラセンサや、露光光の絶対照度を計測するための絶対照度計を設けてもよい。この場合、一旦液体を回収することなく投影光学系最終面下に液体を満たし続けたままで、しかも露光状態とほぼ同じ液浸状態で照度ムラや絶対照度を計測することができる。これにより、露光装置の生産性を落とすことなく、高い精度で照度ムラや絶対照度を計測することができる。以上のように、平面板はウエハステージとは個別に移動できることが生産性の点で好ましいが、走査型露光装置の場合においては、走査時の積算照度ムラを計測できる点で照度ムラセンサを平

面板と一緒にウエハステージ上に配置することにも利点がある。

【0123】

吸引口22から気体や液体を吸引する機能を用いることにより、投影光学系最終面4sへの初期液膜の生成をより迅速に行うことができる。図11を参照しながら吸引口22を用いた初期液膜の生成方法を説明する。

【0124】

初めに、投影レンズ最終面4sの外周を囲むように配置された液体供給ノズル5のほぼ中央の直下に、吸引口22が位置するように平面板21を移動させる。この状態において、液体供給ノズル5の全周から液体を平面板21上に供給する(図11(a))。

【0125】

供給された液体は、投影レンズ最終面4sを含む平行平面(連続部材)20と平面板21の間に、中央に気体gを残したまま、液体供給ノズル5の配置に従って周状或いは環状に液膜fを形成する。このまま液体を供給し続けただけでは、液膜fの内側に気体gが封じ込められているため、気体gは外に排出されない。したがって、投影レンズ最終面4sの下空間を何時まで経っても液体で完全に満たすことはできない。

【0126】

そこで、液体供給ノズル5から液体を周状或いは環状に最終面4s下の空間に供給した状態で吸引口22を通して気体gを吸引する。この吸引によって気体gの圧力は外部環境の圧力よりも負圧になり、外周に形成されている液膜には、この圧力差によって、外周から吸引口22に向かう力が働き、液膜は吸引口22に向かって速やかに広がり始める(図11(b))。更に、吸引口22を通して吸引を続けると、液体が吸引口22を通して吸引され始める頃には、投影光学系最終面4sと平面板21との間の隙間は、気体gのない液膜で満たされる(図11(c))。

【0127】

次に、吸引口22からの吸引を停止する。吸引を停止した状態では、ウエハステージ10が停止している間は液体供給ノズル5からの液体の供給を停止してもよい。しかしながら、液体が静止した状態では、周囲環境を構成する気体や不純物が絶えず液体の中に取り込まれている。そのため、気泡や不純物の濃度が高くなり、発生した気泡が消失せずに露光時まで残ったり、露光によって微少な気泡が発生したり、更には取り込まれた不純物によって投影光学系最終面が曇ったりする不具合が生じうる。この不具合を避けるためには、ウエハステージ10が停止している間も絶えず液体を供給し続け、この液体を供給している間は、少なくとも液体回収ノズル6により液体を回収することが好ましい。

【0128】

図11(a)～(c)の間は、液体回収ノズル6は停止しておいてもよいが、振動や突発的な液体供給量の変動などにより外部に液体が飛び散るのを防ぐためには、常に液体回収ノズル6は稼働させておくことが好ましい。

【0129】

最後に、液体の供給と回収を続けたまま投影光学系最終面の直下にウエハ9が位置するようにウエハステージ21を移動させる(図11(d))。

【0130】

このように、吸引により、周状或いは環状に形成された液膜を中央に向かって成長させれば、より迅速に気泡の無い液膜を形成することが可能であり、ひいては露光装置の生産性を向上させる利点がある。また、この方法によれば、ステージの移動が不要であるため、より開口数の大きい投影光学系を採用した場合など、特に大きな面積の液膜を生成する方法としても適している。

【0131】

もちろん、吸引口22を用いることにより、液膜の回収を迅速に行うこともできる。即ち、投影光学系最終面4sと平面板21との間に液膜を移した状態から、液体供給ノズル5からの液体の供給を停止し、吸引口22より液体を吸引することで、投影光学系最終面4sと液体吸引板21の間にあった液膜の殆どを迅速に回収することができる。この時、液

体の回収をより完全に行うために、ウエハステージ10を動かしながら液体を吸引してもよい。この液膜の回収機能を使用することによって、即座に液膜を回収することができるため、装置の保守・点検作業や故障時の対応作業を遅滞なく迅速に開始することが可能となる。

【0132】

図11を参照しながら、平面板21に設けた吸引口22を用いることにより、初期液膜を迅速に生成する方法を説明した。この方法とは別に、図12に示すように、吸引口22の代わりに液体注入口23を平面板21に設けて、不図示の液体供給装置から液体注入口23を通して液体を供給しても、以下のように初期液膜を迅速に生成することができる。即ち、図12において、まず初めに投影レンズ最終面4sの外周を囲むように配置された液体供給ノズル5のほぼ中央の直下に、液体注入口23が位置するように平面板21を移動させる。この状態から液体注入口23を通して液体を平面板21上に供給する。供給した液体は、投影レンズ最終面4sと液体注入口23を含む平面板21との間に、小さな液膜を形成する(図12(a))。

10

【0133】

さらに続けて液体注入口23を通して液体を供給することにより、この小さな液膜fは放射状に広がり(図12(b))、投影光学系最終面4sと平面板21との間隙が液体で満たされる。

【0134】

必要に応じて液体回収ノズル6を通して液体を回収することにより、平面板21や投影光学系最終面4sから液体がはみ出すことを防ぐことができる(図12(c))。

20

【0135】

また、液体注入口23を利用することでも、図10を参照して説明したことと同様に、平面板21を静止させた状態で、周囲に液体を飛散、漏出させることなく投影光学系最終面下の液膜を新しい液体で絶えず満たし続けることができる。具体的には、液体注入口23より液体を供給すると同時に、液体回収ノズル6を通して液体を回収する。もちろん、このときには、液体供給ノズル5からの液体の供給は中断した方がよい。

【0136】

このようにすれば、平面板21と投影光学系最終面4sとの間の空間のほぼ中央より液体を満たし始めるので、吸引口22を使って投影光学系最終面4sの外周より液体を満たし始める方法よりも、より周囲の気体との接触面積を小さくすることができる。したがって、初期液膜中に溶解する気体や気体中に含まれる不純物の量をより小さくすることができるため、より安定した露光・解像性能が得られ、また不純物による曇りに対する抑制効果を一層高めることができる。

30

【0137】

また、液体注入口23に加えて、図10、図11で示した液体吸引口22を、平面板21に設けて、初期液膜の生成や液膜の置換には液体注入口22を使用し、液膜部を周囲の環境気体に置換するための液体の回収には液体吸引口23を使用してもよい。液体注入口22の機能と液体吸引口23の機能を同じ開口部で実現することもできる。即ち、平面板21に設けた開口に対して、吸引装置(不図示)及び液体供給装置(不図示)の両方を切換バルブを介して連通させ、この切換バルブを切り替えることにより、吸引口22と注入口23の機能を必要に応じて切り替えることができる。このようにすれば平面板21をよりコンパクトにできる。

40

【0138】

図8～図12を参照して説明した平面板21、吸引口22、注入口23の適用は、本明細書において明示的に説明した液体供給ノズルや液体回収ノズルとの組み合わせにおいて使用されることに限定されず、例えばW099/49504号公報に開示されている液体供給用や液体回収用の配管など、種々の液体供給・回収機構との組み合わせにおいて使用される。

【0139】

50

図 1 3 は、液体供給ノズルと液体回収ノズルの構成及び配置に関する第 6 の構成例を示す斜視図である。図 1 3 に示す構成例は、液体供給ノズル 5 が配置された液接触面 2 0 a の外周側に、液接触面 2 0 a よりもウエハに近い位置に配置された外周面（突出面）2 0 c が設けられている点、すなわち、段差がある点が図 6 に示す構成例と異なる。外周面 2 0 c には、液体回収ノズル 6 が周状に配置されている。

【0140】

このように、投影光学系最終面 4 s の液膜が形成される液接触面 2 0 a の外周側に、液接触面 2 0 a よりもウエハに近い位置に外周面 2 0 c を設けることにより、液体が液接触面 2 0 a の外側に逃げにくくなる。これによって、液体回収ノズル 6 を通して液体を回収する能力を小さくことを可能にし、ひいては液体回収ノズル 6 や液体回収装置 8 を小型化することができる。ここで、図 1 3 に示す構成例では、液体回収ノズル 6 が外側の面 2 0 c 側に設けられているが、液体回収ノズルは、例えば 2 0 a 側に設けられてもよいし、より確実な液体の回収のために面 2 0 a、2 0 c の双方に設けられてもよい。

10

【0141】

また、図 1 3 に示す構成例では、内側の面 2 0 a に対して段差をもって形成された外側の面 2 0 c が投影光学系最終面 4 s を全周にわたって取り囲む用に設けたが、例えば液浸時のウエハの移動方向が限定される場合には、外側の面 2 0 c 或いは段差部は、ウエハの移動方向の下流側のみに設けられてもよい。この場合、外側 2 0 c 或いは段差部の長さは、液体回収ノズルの長さと同じか、それよりも長いことが望ましい。

【0142】

液体供給ノズル 5 や液体回収ノズル 6 のノズル口は、単なる開口として構成してもよいが、液の供給量や回収量の場所ムラを少なくし、更に液ダレしにくくするという点では、微少な穴を複数有する多孔板や多孔質体をノズル口に設けることが望ましい。特に繊維状や粒状（粉状）の金属材料や無機材料を焼結した多孔質体が好適である。またこれらに使用される材料（少なくとも表面を構成する材質）としてはステンレス、ニッケル、アルミナ、石英ガラスが液浸用媒体として使用される純水やフッ化液との相性の点で好適である。

20

【0143】

図 1 4 は、液体供給ノズル及び液体回収ノズルの構成及び配置に関する第 7 の構成例を示す斜視図である。図 1 4 に示す構成例は、投影光学系最終面 4 s を取り囲む最外周部に不活性ガス吹き出し部 2 4 を設けた点で、これまでに挙げた第 1 ～第 6 の構成例と異なる。

30

【0144】

不活性ガス吹き出し部（吹き出し環）2 4 は、不図示の不活性ガス供給装置と連通しており、その下方に配置されるウエハや平板に向かって、ほぼ均一な速度で不活性ガスを吹き出すことができるように構成されている。投影光学系最終面 4 s とウエハや平板との間に液膜が形成されている状態で、不活性ガス吹き出し部 2 4 より不活性ガスを吹き出すことにより、この液膜に対してその外周側から不活性ガスにより圧力を加えることにより液膜を構成している液体が外に飛散することを防止することができる。この利点は、ウエハや平板が移動している際に特に有効に機能する。また、不活性ガスを供給することにより、液膜が中心方向に押されるので、液膜がウエハや平板の表面に付着したまま残ってしまうことを防止することができる。また、不活性ガスを供給することにより、ウエハや平板の表面を乾燥させることができる。ここで、ウエハや平板を乾燥させるためだけに不活性ガスを利用するのであれば、不活性ガスの圧力は低くてもよい。

40

【0145】

また不活性ガス吹き出し部 2 4 には吹き出し速度の場所ムラを抑えるために、液体供給ノズル 5 と同様、その吹き出し口に多孔板や多孔質体をノズル口に設けても良く、またおよそ 0.1 mm 程度の微少な隙間から不活性ガスを吹き出すスリットノズルとすれば、さらに不活性ガスの消費量を抑える利点があり尚良い。

【0146】

以上のような構成によれば、ウエハや平板の上面に液体が残存することをより確実に防止することができる。これは、ウエハ交換時や保守点検時に、残存した液体を回収するた

50

めのユニットや作業が不要とし、露光装置の生産性を向上させること、及び、装置の大型化を防ぐことに寄与する。また、不活性ガスの供給により、ウエハ上面に塗布された感光剤表面が濡れた状態に置かれる時間を短時間に抑え、さらに即座に感光剤表面を乾燥させることができる。したがって、感光剤の露光後の現像工程に影響を与える、濡れ状態に対する依存性を極力低減することができるため、安定した解像性能を感光剤に期待することができる。

【0147】

図14に示す構成例では、投影光学系最終面4sとほぼ同面となる液接触面20aに液体供給ノズル5と液体回収ノズル6を設け、その外周側に平面20aよりもウエハに近い平面20cを設け、平面20cに不活性ガス吹き出し部を設けている。このように液接触面20aよりもウエハに近い面に不活性ガス吹き出し部を設けることにより、比較的少ないガス流量で、大きな圧力差を得ることができ、露光装置のランニングコストを抑え、また、不活性ガスが外部に与える影響を最小限に抑えることができる。もちろん、不活性ガス吹き出し部の効果は、これを液接触面20a内に設けた場合においても、十分に発揮される。また、図3～図5に示す構成例においても、液体供給口5や液体回収口6の外側であって、ウエハ移動方向の上流側に、それらと同じ長さかそれより長い不活性ガス吹き出し部を設けることができる。

【0148】

図14に示す不活性ガス吹き出し部24の更に外周側に、不図示のガス吸い込み部（吸い込み環）を設けて、不活性ガス吹き出し部24から吹き出された不活性ガスを、このガス吸い込み部によって吸い込んで回収し、露光領域の周囲に影響を及ぼさない場所にその吸い込んだ不活性ガスを排気することにより露光領域の周囲の領域に与える不活性ガスの影響を最小限に抑えることができる。ここで、露光領域の周囲に与える不活性ガスの影響の代表的な例としては、例えば、不活性ガスがウエハステージの位置を計測する干渉計の光路や、光学的フォーカスセンサの光路に流れ込んで、光路中の気体の成分が時間的、空間的に不均一となり、それが計測値の揺らぎ成分となって計測誤差の原因となることが挙げられる。

【0149】

またこの不活性ガスには、有機物や酸性ガス、アルカリ性ガスなど光学系の曇りや感光剤に影響を与える不純物や水分を十分に取り除いた空気や窒素を使用するのが適当である。また特に窒素を使用すれば投影光学系最終面下に満たされた液体中に、大気中の酸素が溶け込むのを防ぐことができるため、特に液体として純水や機能水を使用する場合に、液体との接触面が酸化腐食するのを防止できる利点がある。

【0150】

図15は、液体供給ノズル5の好ましい構成例を示す図である。図3～図8、図13、図14に示した液体供給ノズル5の吹き出し口形状はスリット状である。これに対して、図15に示す構成例では、一つのノズルユニット（排出ユニット）5にn個（複数個）のノズルJ1～Jnを備えている。これらのノズルJ1～Jnは、それぞれ開閉バルブV1～Vnを介して液体供給装置7と接続されており、それぞれのノズルJ1～Jnに対応した開閉バルブV1～Vnの動作を切り替えることにより、液体をそれぞれ個別に供給・停止することができる。

【0151】

また、これらのノズル群は、一列だけでなく、複数列に配置されてもよく、これによれば、供給流量を増やすことも可能であるし、さらには複雑な形状に液膜を形成することも可能である。

【0152】

複数のノズルで構成されるノズルユニット5は、例えば図16に示すようにウエハ外周境界部から液浸を行う場合において、下方にウエハがあるノズルに対応する開閉バルブのみ開いて液を供給し、さらにウエハの移動に伴って下方にウエハが入ってくるノズルに対応するバルブを順次開いてさらに液をウエハ上に供給するように制御される。これにより

、液がウエハの外側にはみ出す事を防ぐことができる。これは、液体の回収のための装置負荷を低減する。

【0153】

図16では、ウエハが移動してノズル列の下方の領域内に入ってゆくケースを示しているが、ウエハがノズル列の下方の領域から外れるケースについても適用しうる。また、ウエハの外側に同面板を設けてもよく、この場合は、同面板の外縁に対応して各ノズルからの液体の供給を制御すればよく、これにより同面板の大きさを最小化することができる。したがって、ウエハステージの移動距離を小さくすることができ、装置サイズを小型化することができる。

【0154】

また、図15に示す構成例では、ノズルユニット5の各ノズルからの液の供給・停止が対応する開閉バルブの開閉によって行われる。これに代えて、例えばインクジェットプリンターで利用されているように、ノズルユニットの各ノズルに液滴を吐出・停止する機能を埋め込むことも可能であり、また連続して液体を供給する他に、液滴を高周波で吐出させることによって、実質的に連続した液膜をウエハ上に形成させることも可能である。具体的にはバブルジェット（登録商標）ノズルやサーマルジェットノズル、あるいはピエゾジェットノズルなどの構造及び機能を適用することができる。

【0155】

本発明の好適な実施の形態によれば、液浸法を適用した投影露光装置において、液滴を周囲に飛散させることなく、投影光学系最終面と基板との間に短時間で液膜を形成することが可能であり、更に投影露光時に問題となる微少な気泡の発生を抑制することが可能である。また、基板毎に、又は、露光に先立って実施する位置合わせ工程毎に、又は、露光装置の性能を維持するための各種工程毎に、個別に液体を回収する作業が不要になる。また、投影光学系最終面を常に純度の高い液体で覆うことができ、しかも環境雰囲気との接触面積を小さくすることができるため、所定の露光・解像性能を安定して得ることが可能となり、更には環境中や感光剤中に含まれる不純物による曇りを抑制あるいは防止することができる。これらにより、露光装置の規模を大きくすることなく、また露光装置の生産性を損なうことなく、高精度かつ安定した投影露光が可能になり、微細なパターンを安定してかつ良好に基板に転写することができる。

【0156】

次に、上述した露光装置を利用して、マイクロデバイス等のデバイスの一例としての半導体デバイスを製造するプロセスを説明する。図17は半導体デバイスの全体的な製造プロセスのフローを示す図である。ステップ1（回路設計）では半導体デバイスの回路設計を行う。ステップ2（マスク作製）では設計した回路パターンに基づいてマスクを作製する。

【0157】

一方、ステップ3（ウエハ製造）ではシリコン等の材料を用いてウエハを製造する。ステップ4（ウエハプロセス）は前工程と呼ばれ、上記のマスクとウエハを用いて、上記の露光装置によりリソグラフィ技術を利用してウエハ上に実際の回路を形成する。次のステップ5（組み立て）は後工程と呼ばれ、ステップ5によって作製されたウエハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の組み立て工程を含む。ステップ6（検査）ではステップ5で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、ステップ7でこれを出荷する。

【0158】

上記ステップ4のウエハプロセスは以下のステップを有する。ウエハの表面を酸化させる酸化ステップ、ウエハ表面に絶縁膜を成膜するCVDステップ、ウエハ上に電極を蒸着によって形成する電極形成ステップ、ウエハにイオンを打ち込むイオン打ち込みステップ、ウエハに感光剤を塗布するレジスト処理ステップ、上記の露光装置によって回路パターンをレジスト処理ステップ後のウエハに転写する露光ステップ、露光ステップで露光したウ

エハを現像する現像ステップ、現像ステップで現像したレジスト像以外の部分を削り取るエッチングステップ、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除くレジスト剥離ステップ。これらのステップを繰り返し行うことによって、ウエハ上に多重に回路パターンを形成する。

【0159】

【発明の効果】

本発明によれば、液浸法を適用した露光装置及び露光方法の実用性を高めること、例えば、投影光学系の最終面と基板との間隙をより確実に液体で満たすこと、又は、投影光学系の最終面がそれを取り巻く雰囲気には晒される可能性を低減すること、又は、露光装置の構造を単純化し、露光装置を小型化することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の好適な実施形態の構成を概略的に示す図である。

【図2】本発明の好適な実施の形態において投影光学系とウエハとの間隙を液体で満たす工程を模式的に示す図である。

【図3】本発明の好適な実施の形態の露光装置における液体供給ノズル及び液体回収ノズルの第1の構成例を示す図である。

【図4】本発明の好適な実施の形態の露光装置における液体供給ノズル及び液体回収ノズルの第2の構成例を示す図である。

【図5】本発明の好適な実施の形態の露光装置における液体供給ノズル及び液体回収ノズルの第3の構成例を示す図である。

20

【図6】本発明の好適な実施の形態の露光装置における液体供給ノズル及び液体回収ノズルの第4の構成例を示す図である。

【図7】本発明の好適な実施の形態の露光装置における液体供給ノズル及び液体回収ノズルの第5の構成例を示す図である。

【図8】本発明の好適な他の実施形態の一部構成を概略的に示す図である。

【図9】本発明の好適な他の実施の形態の露光装置において投影光学系下に平板を送り込む工程を示す図である。

【図10】本発明の好適な他の実施の形態の露光装置において投影光学系下に平板を送り込む他の工程を示す図である。

【図11】本発明の好適な実施の形態の露光装置において投影光学系下に液膜を生成する工程を示す図である。

30

【図12】本発明の好適な実施の形態の露光装置において投影光学系下に液膜を生成する他の工程を示した図である。

【図13】本発明の好適な実施の形態の露光装置における液体供給ノズル及び液体回収ノズルの第6の構成例を示す図である。

【図14】本発明の好適な実施の形態の露光装置における液体供給ノズル及び液体回収ノズルの第7の構成例を示す図である。

【図15】本発明の好適な実施の形態の露光装置におけるノズルユニット（複数ノズルで構成されたノズルユニット）の構成例を示す図である。

【図16】図15に示すノズルユニットの適用例を示す図である。

40

【図17】半導体デバイスの全体的な製造プロセスのフローを示す図である。

【符号の説明】

1：レチクル

2：照明系

3：レチクルステージ

4：投影光学系

4s：投影光学系最終面

5, 5a, 5b, 5c, 5d, 5e, 5f, 5g, 5h：液体供給ノズル

6, 6a, 6b, 6c, 6d, 6e, 6f, 6g, 6h：液体回収ノズル

7：液体供給装置

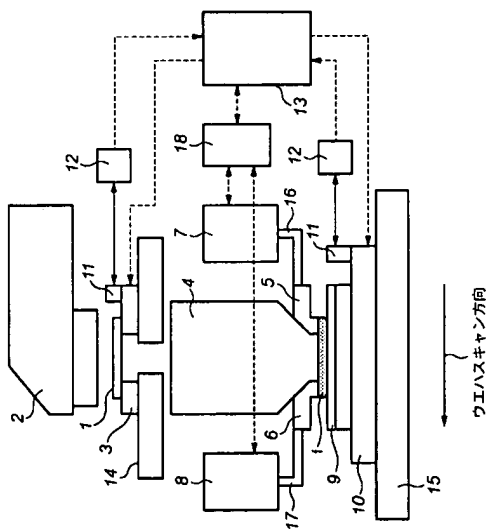
50

- 8 : 液体回収装置
 9 : ウエハ
 10 : ウエハステージ
 11 : 参照ミラー
 12 : 測距用レーザー干渉計
 13 : ステージ制御装置、
 14, 15 : 定盤
 16 : 供給管
 17 : 回収管
 18 : 液浸制御装置
 19 : 同面板
 20, 20a, 20b : 連続部材 (液接触面)
 20c : 外周面
 21 : 平面板
 22 : 吸引口
 23 : 液体注入口
 24 : 不活性ガス吹き出し部
 f : 液浸用液体
 g : 気体
 ea : 露光スリット領域
 J1, J2...Jn : ノズル
 V1, V2...Vn : 開閉バルブ

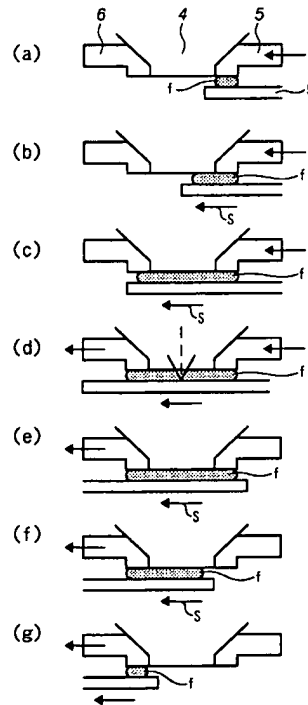
10

20

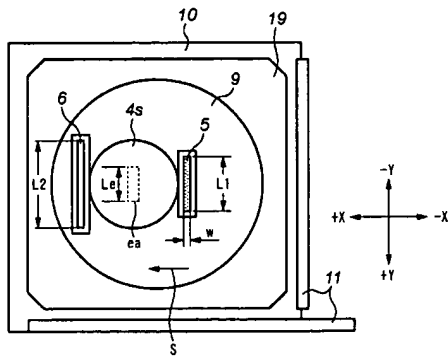
【図1】



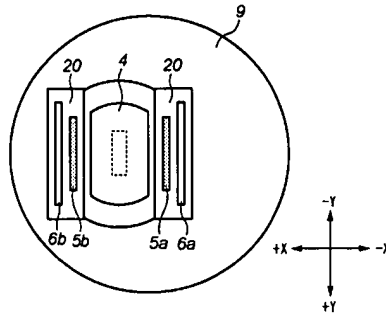
【図2】



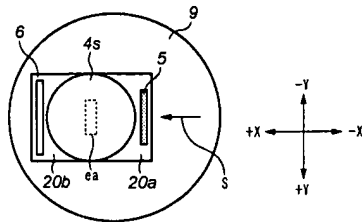
【図 3】



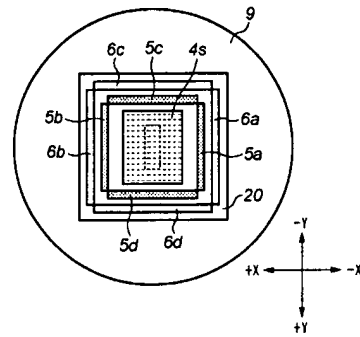
【図 5】



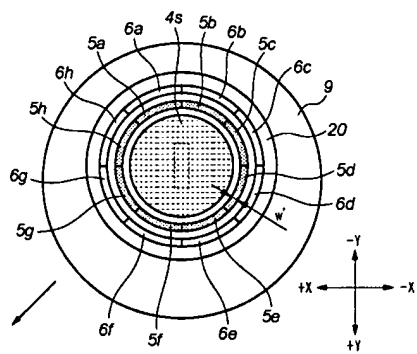
【図 4】



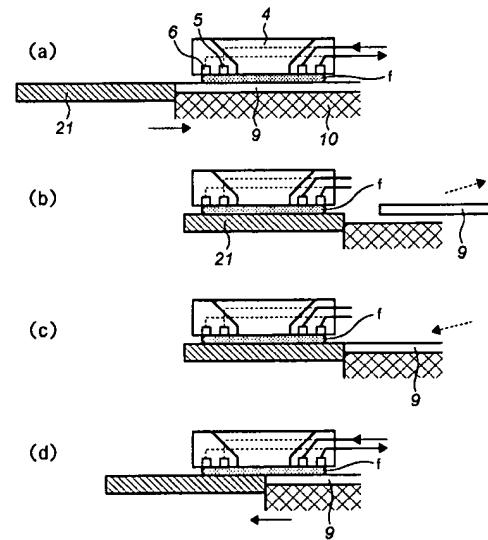
【図 6】



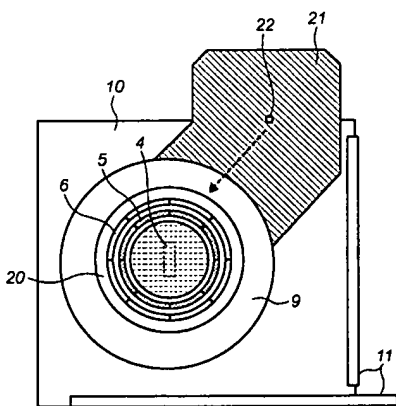
【図 7】



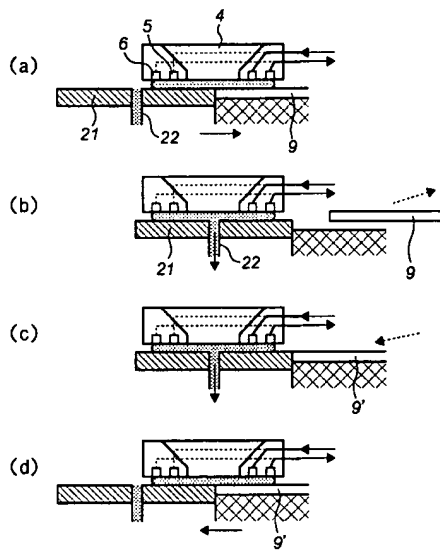
【図 9】



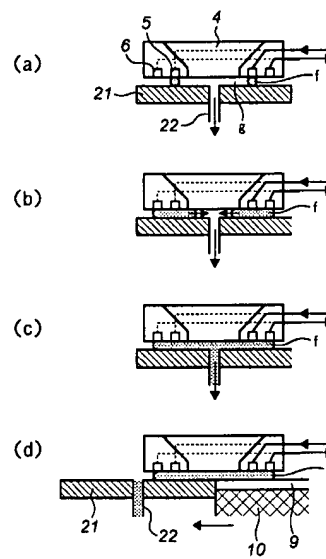
【図 8】



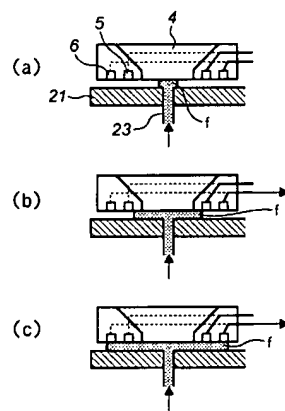
【図 10】



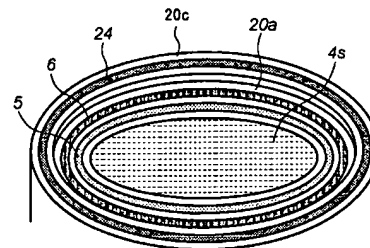
【図 11】



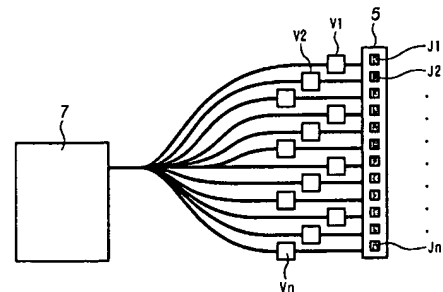
【図 12】



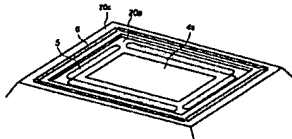
【図 14】



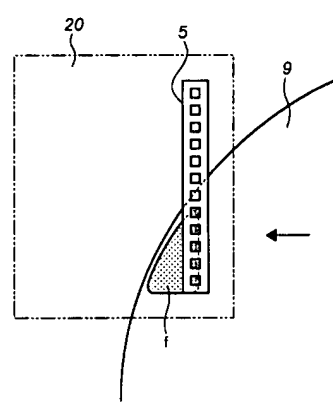
【図 15】



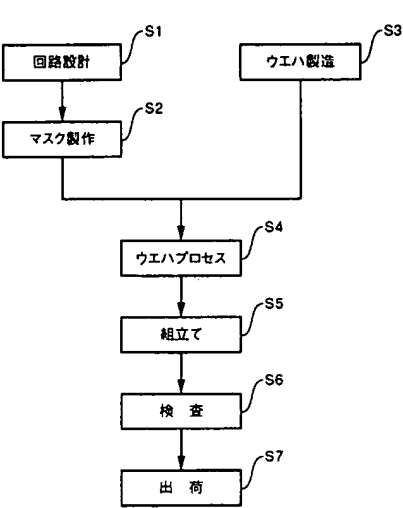
【図 13】



【図 1 6】



【図 1 7】



(19) Japan Patent Office (JP)

(11) Japanese Unexamined Patent
Application Publication Number(12) **Japanese Unexamined Patent
Application Publication (A)****2005-19864**

(43) Publication date: January 20, 2005

(51) Int. Cl. ⁷		FI	Theme Code(reference)
H 01 L 21/027		H 01 L 21/30 514 C	5F046
G 03 F 7/20		G 03 F 7/20 521	
		Request for examination: requested	No. of claims: 52 OL (Total of 31 pages)
(21) Application No.	Patent application no. P2003-185389	(71) Applicant	000001007 Canon Inc. 3-30-2, Shimomaruko, Ohta-ku, Tokyo
(22) Date of Application	June 27, 2003	(74) Agent	100076428 Yasunori OTSUKA, patent attorney
		(74) Agent	100112508 Jiro TAKAYANAGI, patent attorney
		(74) Agent	100115071 Yasuhiro OTSUKA, patent attorney
		(74) Agent	100116894 Shuji KIMURA, patent attorney
		(72) Inventor	Kazushi NAKANO Canon Inc 3-30-2 Shimomaruko, Ohta-ku, Tokyo
		F Term (Reference)	5F046 BA04 CC01 DA07 DA27

(54) Title of the invention: Exposure apparatus and exposure method(57) Abstract

Purpose: To provide an exposure apparatus and an exposure method to reliably fill with a liquid a gap between a final surface of a projection optical system and a substrate in an exposure apparatus to which immersion is applied.

Configuration: An exposure apparatus includes a liquid supply nozzle 5 arranged in a first direction seen from a perimeter of a projection optical system 4 and the projection optical system. When a substrate stage 10 moves a substrate 9 in a second direction opposite to the first direction, the liquid supply nozzle 5 supplies a liquid to the surface of the substrate 9 to form a liquid film f on the substrate. The liquid supply nozzle 5 continuously supplies a liquid to the surface of the substrate 9 so as to continuously spread the liquid film f in accordance with movement of the substrate 9.

[Selected drawing] Fig. 2

Scope of Patent Claims

Claim 1

An exposure apparatus which projects and transfers a pattern on a master to a substrate through a projection optical system, the apparatus comprising:

a substrate stage which holds and moves the substrate; and

a liquid supply unit which has a supply nozzle and supplies a liquid to a surface of the substrate to form a liquid film on the surface,

wherein the liquid supply nozzle is arranged in a first direction seen from a perimeter of the projection optical system and the projection optical system and the liquid supply unit continuously supplies a liquid to the surface of the substrate through the liquid supply nozzle so as to continuously spread the liquid film in accordance with movement of the substrate when the substrate stage moves the substrate in a second direction opposite to the first direction.

Claim 2

The apparatus according to claim 1, wherein the liquid supply unit continuously supplies a liquid to the surface of the substrate through the liquid supply nozzle in accordance with movement of the substrate such that the liquid flows into a gap between a final surface of the projection optical system and the surface to fill the gap with the liquid.

Claim 3

The apparatus according to claim 1 or 2, further comprising a liquid recovery unit which has a liquid recovery nozzle, wherein the liquid recovery nozzle is arranged in the second direction seen from the outside of the projection optical system and the projection optical system, and the liquid recovery unit recovers a liquid of the liquid film spread in accordance with movement of the substrate through the liquid recovery nozzle.

Claim 4

The apparatus according to claim 1 or 2, further comprising a liquid recovery unit which has a plurality of liquid recovery nozzles arranged to surround the projection optical system, wherein the liquid recovery unit recovers the liquid of the liquid film formed on the substrate through a part of or all the liquid recovery nozzles.

Claim 5

The apparatus according to claim 1 or 2, wherein the liquid supply unit has a plurality of liquid supply nozzles arranged in a different direction to each other seen from the projection optical system, and when the substrate stage moves the substrate, supplies liquid to the surface of the substrate through at least one of the plurality of liquid supply nozzles positioned in a direction opposite to a moving direction of the substrate seen from the projection optical system.

Claim 6

The apparatus according to claim 4, wherein the liquid supply unit has a plurality of liquid supply nozzles arranged in a different direction to each other seen from the projection optical system, and when the substrate stage moves the substrate, supplies a liquid to the surface of the substrate through at least one of the plurality of liquid supply nozzles positioned in a direction opposite to the moving direction of the substrate seen from the projection optical system, and the liquid recovery unit recovers the liquid of the liquid film formed on the substrate through at least one of the plurality of liquid recovery nozzles positioned in the moving direction of the substrate seen from the projection optical system.

Claim 7

The apparatus according to claim 4 or 6, wherein the plurality of liquid recovery nozzles is arranged outside the plurality of liquid supply nozzles.

Claim 8

The apparatus according to any one of claims 1 to 7, wherein the liquid supply unit supplies a liquid to the surface of the substrate with a width not less than that of exposure light from the projection optical system in a direction perpendicular to the moving direction of the substrate.

Claim 9

The apparatus according to any one of claims 1 to 8, wherein the liquid supply unit controls the liquid supply so as to satisfy:

$$\mu \geq d \cdot v / w$$

where μ is a mean flow velocity of the liquid at an outlet port of the liquid supply nozzle, d is an interval between the final surface of the projection optical system and the substrate, v is a moving velocity of the substrate, and w is a width of the outlet port of the liquid supply nozzle along a moving direction of the substrate.

Claim 10

The apparatus according to any one of claims 1 to 8, wherein the liquid supply unit controls a liquid flow rate supplying a liquid to the substrate through the liquid supply nozzle based on a moving velocity of the substrate.

Claim 11

The apparatus according to any one of claims 1 to 10, wherein an interval between the outlet port of the liquid supply nozzle and the wafer stage is substantially equal to an interval between the final surface of the projection optical system and the wafer stage.

Claim 12

The apparatus according to any one of claims 1 to 10, wherein an interval between the outlet port of the liquid supply nozzle and the wafer stage is larger than

an interval between the final surface of the projection optical system and the wafer stage.

Claim 13

The apparatus according to claim 3 or 4, wherein an interval between an inlet port of the liquid recovery nozzle and the wafer stage is substantially equal to an interval between the final surface of the projection optical system and the wafer stage.

Claim 14

The apparatus according to claim 3 or 4, wherein an interval between the inlet port of the liquid recovery nozzle and the wafer stage is less than an interval between the final surface of the projection optical system and the wafer stage.

Claim 15

The apparatus according to any one of claims 1 to 14, wherein an end portion of the final surface of the projection optical system which is adjacent to the liquid supply nozzle is linear at a place where a final surface is adjacent to the liquid supply nozzle.

Claim 16

The apparatus according to any one of claims 1 to 14, wherein a length of the final surface of the projection optical system in a direction perpendicular to the first direction is longer than a length of the final surface of the projection optical system in the first direction.

Claim 17

The apparatus according to claim 3 or 4, wherein an end portion of the final surface of the projection optical system which is adjacent to the liquid recovery nozzle is linear at a place where a final surface is adjacent to the liquid recovery nozzle.

Claim 18

The apparatus according to any one of claims 1 to 17, wherein the final surface of the projection optical system has a rectangular shape.

Claim 19

The apparatus according to any one of claims 1 to 18, further comprising a contiguous member which continuously extends from the final surface of the projection optical system and has a surface opposing the substrate stage, wherein the outlet port of the liquid supply nozzle is arranged in the opposing surface.

Claim 20

The apparatus according to claim 3 or 4, further comprising a contiguous member which continuously extends from the final surface of the projection optical system and has a surface opposing the substrate stage, wherein the outlet port of the liquid supply nozzle and the inlet port of the liquid recovery nozzle are arranged in the opposing surface.

Claim 21

The apparatus according to any one of claims 1 or 20, wherein the liquid supply unit has a nozzle group arranged in one line or in a plurality of lines as liquid supply nozzles and has an on-off unit for independently controlling supply and stop of the liquid from the nozzle group.

Claim 22

The apparatus according to claim 21, wherein the on-off unit controls supply and stop of the liquid using each nozzle of the nozzle group depending on presence of the substrate immediately below each nozzle.

Claim 23

An exposure apparatus which projects and transfers a pattern on a master to a substrate through a projection optical system, the apparatus comprising:

a substrate stage which holds and moves the substrate;

a flat plate which has a height substantially equal to the height of the substrate on the substrate stage;

a liquid supply unit which supplies a liquid to between the final surface of the projection optical system and the substrate or the flat plate; and

a liquid recovery unit which recovers a liquid from between the final surface of the projection optical system and the substrate or the flat plate.

Claim 24

The apparatus according to claim 23, wherein the flat plate is adjacent to at least a part of the substrate on the substrate stage.

Claim 25

The apparatus according to claim 23 or 24, wherein the flat plate has a suction port to suck a liquid on the flat plate.

Claim 26

The apparatus according to claim 23 or 24, wherein the flat plate has a liquid supply port to supply a liquid to the flat plate.

Claim 27

The apparatus according to claim 23 or 24, wherein the flat plate has an open flow path to supply or suck a liquid on the flat plate.

Claim 28

The apparatus according to any one of claims 23 to 27, further comprising a driving mechanism to move the flat plate below the final surface of the projection optical system.

Claim 29

The apparatus according to any one of claims 23 to 27, wherein the substrate stage drives the flat plate to below the final surface of the projection optical system.

Claim 30

An exposure apparatus which projects and transfers a pattern on a master to a substrate through a projection optical system, the apparatus comprising:
a substrate stage which holds and moves the substrate;
a contiguous member which has liquid contact surface continuously extended from the final surface of the projection optical system; and
a liquid supply unit which supplies a liquid to between the final surface and the liquid contact surface and the substrate through an outlet port on the liquid contact surface.

Claim 31

The apparatus according to claim 30, further comprising a liquid recovery unit which recovers a liquid between the final surface and the liquid contact surface and the substrate.

Claim 32

The apparatus according to claim 30, wherein the liquid recovery unit recovers a liquid between the final surface and the liquid contact surface and the substrate through an inlet port on the liquid contact surface.

Claim 33

The apparatus according to any one of claims 30 to 32, wherein the contiguous member is a part of a lens barrel which supports the projection optical system.

Claim 34

The apparatus according to claim 30, further comprising a projecting portion projecting to a side of the substrate stage in an end portion of the liquid contact surface.

Claim 35

The apparatus according to claim 34, further comprising a liquid recovery unit which recovers a liquid between the final surface and the liquid contact surface and the substrate through an inlet port on a surface of which the projecting portion faces the substrate stage.

Claim 36

An exposure apparatus which projects and transfers a pattern on a master to a substrate through a projection optical system, the apparatus comprising:
a substrate stage which holds and moves the substrate;
a contiguous member which has a liquid contact surface continuously extended from the final surface of the projection optical system;
a liquid supply unit which supplies a liquid to a gap between the final surface and the substrate through a liquid supply port around the final surface;
a liquid recovery unit which recovers a liquid from a gap between the final surface and the substrate through a liquid recovery port around the final surface; and

a gas outlet port which is arranged to surround the liquid supply port and the liquid recovery unit and discharges a gas so as to cover around the substrate.

Claim 37

The apparatus according to claim 36, further comprising a gas recovery port which surrounds the gas outlet port and recovers a gas discharged from the gas outlet port.

Claim 38

The apparatus according to any one of claims 1 to 37, wherein the apparatus is a scanning exposure apparatus which transfers the pattern on the master to the substrate while the substrate stage moves.

Claim 39

The apparatus according to any one of claims 1 to 37, wherein a liquid supply operation starts through the liquid supply nozzle when the substrate moves to switch shot regions.

Claim 40

An exposure method of projecting and transferring a pattern on a master to a substrate through a projection optical system, the method comprising the step of:

forming a liquid film on a surface of the substrate by a liquid supply nozzle arranged in a first direction supplying a liquid to a surface of the substrate seen from a perimeter of the projection optical system and the projection optical system and supplying the liquid continuously to the surface of the substrate through the liquid supply nozzle so as to spread the liquid film continuously in accordance with movement of the substrate while the substrate moves in a second direction opposite to the first direction.

Claim 41

The method according to claim 40, wherein the pattern on the master is transferred to the substrate by slit light while the substrate moves.

Claim 42

The method according to claim 40, wherein the liquid film is formed before the pattern on the master is transferred to the substrate or while the pattern on the master is transferred to the substrate many times.

Claim 43

An exposure method of projecting and transferring a pattern on a master to a substrate through a projection optical system, the method comprising the steps of:

transferring the pattern on the master to the substrate in a state in which a gap between a final surface of the projection optical system and the substrate is filled with a liquid; and

moving a flat plate below the final surface in a state in which a liquid is filled below the final surface of the projection optical system.

Claim 44

The method according to claim 43, further comprising the step of removing the substrate from the substrate stage in a state in which the flat plate is positioned below the final surface of the projection optical system after the step of moving.

Claim 45

The method according to claim 44, further comprising the step of placing a new substrate on the substrate stage after the step of removing.

Claim 46

An exposure apparatus which projects a pattern on a master to a substrate through a projection optical system, the apparatus comprising:
a substrate stage which holds and moves the substrate; and
a liquid supply unit which supplies a liquid to the substrate with nozzles facing the substrate on the substrate stage,
wherein a liquid film is formed between the projection optical system and the substrate by moving the substrate by the substrate stage and supplying liquid to the substrate by the liquid supply unit.

Claim 47

The apparatus according to claim 46, further comprising an opposing member facing the substrate so as to form a substantially uniform liquid film of a liquid from the liquid supply unit.

Claim 48

An exposure apparatus which projects a pattern on a master to a substrate through a projection optical system, the apparatus comprising:
a substrate stage which holds and moves the substrate;
a liquid film forming unit which forms a liquid film between the projection optical system and the substrate on the substrate stage; and
a flat plate which supports the liquid film by the liquid film forming unit instead of the substrate.

Claim 49

An exposure apparatus which projects a pattern on a master to a substrate through a projection optical system, the apparatus comprising:
a substrate stage which holds and moves the substrate;
a liquid supply unit which supplies a liquid to a gap between the projection optical system and the substrate on the substrate stage;
a liquid recovery unit which recovers a liquid from the gap; and
a gas outlet unit which discharges a gas to the substrate so as to surround the gap.

Claim 50

An exposure method of projecting a pattern on a master through a projection optical system, the method comprising the step of:

supplying a liquid to the substrate by a liquid supply unit which has nozzles facing the substrate on the substrate stage and forming a liquid film between the projection optical system and the substrate by moving the substrate by the substrate stage.

Claim 51

An exposure method of projecting a pattern on a master through a projection optical system, the method comprising the steps of:

forming a liquid film between the projection optical system and the substrate;
and

replacing the substrate with a flat plate while holding the liquid film formed in the forming step.

Claim 52

A device manufacturing method comprising the step of:

manufacturing a device using the exposure apparatus according to any one of claims 46 to 49.

Detailed Description of the Invention

Industrial Field of Utilization

[0001]

The present invention relates to an exposure apparatus and an exposure method for transferring a pattern on a master to a substrate coated with a photosensitive agent in manufacturing a device such as a semiconductor device, liquid crystal display device, or the like and, particularly, to an exposure apparatus and an exposure method using immersion.

Prior Art

[0002]

The manufacturing process of a semiconductor device with a submicroscopic pattern such as an LSI, VLSI, or the like employs a reduction projection exposure apparatus which reduces and projects a pattern formed on a mask and transfers it onto a substrate coated with a photosensitive agent. Along with an increase in integration degree of semiconductor devices, finer patterns have been demanded. Concurrently with development of resist processes, measures have been taken against exposure apparatuses for miniaturizing patterns.

[0003]

To improve the resolution of an exposure apparatus, a method of shortening the exposure wavelength or a method of increasing the numerical aperture (NA) of the projection optical system is generally employed.

[0004]

As for the exposure wavelength, a KrF excimer laser with an oscillation wavelength of 365-nm i-line to recently around 248 nm has been used, and an ArF excimer laser with an oscillation wavelength around 193 nm has been developed. A fluorine (F₂) excimer laser with an oscillation wavelength around 157 nm is also under development.

[0005]

As another technique for increasing the resolution, a projection exposure method using immersion is receiving attention. Conventionally, the space between the final surface of a projection optical system and a surface of a substrate (e.g., a wafer) to be exposed is filled with a gas. Immersion performs projection exposure by filling this space with a liquid. For example, assume that pure water (whose refractive index is 1.33) is to be provided to the space between a projection optical system and a wafer, as the liquid, and the maximum incident angle of light beams which form an image on the wafer in immersion is equal to that in a conventional method. In this case, the resolution in immersion becomes 1.33 times higher than that in the conventional method even when a light source having the same wavelength is used in each method. This is equivalent to an increase in NA of the projection optical system in the conventional method by a factor of 1.33. Immersion makes it possible to obtain a resolution whose NA is 1 or more, which cannot be attained by the conventional method.

[0006]

To fill the space between the final surface of a projection optical system and a wafer surface with liquid, mainly two types of methods have been proposed.

[0007]

One of them is a method of placing the final surface of the projection optical system and the entire wafer in a liquid tank. Patent Document 1 discloses an exposure apparatus using this method.

[0008]

The other is a method of supplying a liquid only to the space between the projection optical system and the wafer surface, i.e., a local fill method. Patent Document 2 discloses an exposure apparatus using this method.

[0009]

[Patent Document] JP-A-06-124873

[Patent Document] WO99/49504

Problems to Be Solved by the Invention

[0010]

In the method disclosed in Patent Document 1, a liquid may splash about when a wafer moves at high velocity, and equipment is required to recover such splashes. Also, micro-bubbles caused by the wavy liquid surface may adversely affect the imaging performance. In addition, this method may increase the complexity and size of the apparatus.

[0011]

In the method disclosed in Patent Document 2, assume that the gap between a wafer and a projection optical system is small. In this case, even when a nozzle is directed toward the gap, and a liquid is supplied to the gap, the liquid discharged from the nozzle does not easily flow into the gap, and a gas remains in the gap. For this reason, satisfactory immersion cannot be performed. The liquid having failed to easily flow into the gap collides with the perimeter of a projection lens and escapes externally. Equipment for recovering the liquid needs to be provided around the perimeter, and the size of the exposure apparatus increases. Even if a liquid can be supplied into the small gap, since the flow resistance inside the gap is larger than that outside the gap, the flow velocity of the liquid discharged from the nozzle is much higher than that in the gap. For this reason, the flow velocity of the liquid changes excessively at the tip of the nozzle or at a portion where the liquid collides with the perimeter of the projection lens, the flow is greatly disturbed, and air bubbles may be generated. These air bubbles may enter the gap between the projection lens and the wafer, may prevent transmission of light, and may adversely affect the imaging performance of the exposure apparatus.

[0012]

In the method disclosed in Patent Document 2, a liquid supplied onto the wafer needs to be recovered at least every wafer replacement, and the productivity of the apparatus has to be sacrificed to recover the liquid. Recovery of a liquid on the wafer means recovering a liquid filled under the lower surface of the projection lens. For this reason, a part of the lower surface of the projection lens can get wet with liquid drops at least every wafer replacement, another part can be coated with a thin liquid film, and still another part can directly be exposed to the outer air. The environment surrounding the projection lens and wafer contains impurities in larger amounts in comparison with the supplied liquid, and a liquid adhered to the lower surface of the projection lens may absorb an impurity contained in the outer air. The liquid adhered to the lower surface of the projection lens evaporates to the outer air, and the impurity originally contained in the liquid or an impurity absorbed from the outer air condenses in the liquid. As a result, an impurity may be attached to the surface of the projection lens to cause clouds or the impurity may remain as a residue

after the complete evaporation/drying of the liquid on the surface of the projection lens to cause clouds.

[0013]

The present invention has been made in consideration of the above-mentioned problems, and has as its object to increase the practicality of an exposure apparatus and an exposure method using immersion and, for example, more reliably fill the gap between the final surface of a projection optical system and a substrate with a liquid, suppress the possibility of being influenced by atmosphere surrounding the final surface of the projection optical system, simplify the structure of an exposure apparatus, reduce the size of the exposure apparatus, or the like.

Means to Solve Problems

[0014]

According to a first aspect of the present invention, there is provided an exposure apparatus which projects and transfers a pattern on a master to a substrate through a projection optical system, the apparatus including a substrate stage which holds and moves the substrate and a liquid supply unit which has a liquid supply nozzle and supplies a liquid to a surface of the substrate to form a liquid film. The liquid supply nozzle is arranged in a first direction seen from the perimeter of the projection optical system or the projection optical system and the liquid supply unit continuously supplies the liquid to the surface of the substrate through the liquid supply nozzle so as to continuously widen the liquid film in accordance with the movement of the substrate when the substrate stage moves the substrate to a second direction which is the opposite direction of the first direction.

[0015]

According to a preferred embodiment of the present invention, it is preferable that the liquid supply unit supply the liquid to the surface of the substrate through the liquid supply nozzle so as to fill a gap with the liquid flowed into the gap between the final surface of the projection optical system and the substrate by the movement of the substrate.

[0016]

According to the preferred embodiment of the present invention, it is preferable that the exposure apparatus further includes a liquid recovery unit which has a liquid recovery nozzle, wherein the liquid recovery nozzle is arranged in the second direction seen from the outside of the projection optical system and the projection optical system, and the liquid recovery unit recovers a liquid of the liquid film spread in accordance with movement of the substrate through the liquid recovery nozzle.

[0017]

According to the preferred embodiment of the present invention, it is preferable that the exposure apparatus further includes a liquid recovery unit which has a plurality of liquid recovery nozzles arranged to surround the projection optical system, wherein the liquid recovery unit recovers the liquid of the liquid film formed on the substrate through a part of or all the liquid recovery nozzles.

[0018]

According to the preferred embodiment of the present invention, the liquid supply unit preferably has a plurality of liquid supply nozzles arranged in a different direction to each other seen from the projection optical system, and when the substrate stage moves the substrate, supplies liquid to the surface of the substrate through at least one of the plurality of liquid supply nozzles positioned in a direction opposite to a moving direction of the substrate seen from the projection optical system.

[0019]

According to the preferred embodiment of the present invention, the liquid supply unit preferably has a plurality of liquid supply nozzles arranged in a different direction to each other seen from the projection optical system, and when the substrate stage moves the substrate, supplies a liquid to the surface of the substrate through at least one of the plurality of liquid supply nozzles positioned in a direction opposite to the moving direction of the substrate seen from the projection optical system, and the liquid recovery unit recovers the liquid of the liquid film formed on the substrate through at least one of the plurality of liquid recovery nozzles positioned in the moving direction of the substrate seen from the projection optical system.

[0020]

According to the preferred embodiment of the present invention, the plurality of liquid recovery nozzles is preferably arranged outside of the plurality of liquid supply nozzles.

[0021]

According to the preferred embodiment of the present invention, it is preferable that the liquid supply unit supplies a liquid to the surface of the substrate with a width not less than that of the exposure light from the projection optical system in a direction perpendicular to the moving direction of the substrate.

[0022]

According to the preferred embodiment of the present invention, the liquid supply unit preferably controls the liquid supply so as to satisfy:

$$\mu \geq d \cdot v / w$$

where μ is a mean flow velocity of the liquid at an outlet port of the liquid supply nozzle, d is an interval between the final surface of the projection optical system and the substrate, v is a moving velocity of the substrate, and w is a width of the outlet port of the liquid supply nozzle along a moving direction of the substrate.

[0023]

According to the preferred embodiment of the present invention, the liquid supply unit preferably controls the liquid flow rate supplying a liquid to the substrate through the liquid supply nozzle based on a moving velocity of the substrate.

[0024]

According to the preferred embodiment of the present invention, it is preferable that an interval between the outlet port of the liquid supply nozzle and the wafer stage is substantially equal to an interval between the final surface of the projection optical system and the wafer stage. Alternatively, an interval between the outlet port of the liquid supply nozzle and the wafer stage may be larger than an interval between the final surface of the projection optical system and the wafer stage.

[0025]

According to the preferred embodiment of the present invention, it is preferable that an interval between an inlet port of the liquid recovery nozzle and the wafer stage is substantially equal to an interval between the final surface of the projection optical system and the wafer stage. Alternatively, an interval between the inlet port of the liquid recovery nozzle and the wafer stage may be less than an interval between the final surface of the projection optical system and the wafer stage.

[0026]

According to the preferred embodiment of the present invention, an end portion of the final surface of the projection optical system which is adjacent to the liquid supply nozzle may be linear at a place where a final surface is adjacent to the liquid supply nozzle.

[0027]

According to the preferred embodiment of the present invention, a length of the final surface of the projection optical system in a direction perpendicular to the first direction may be longer than a length of the final surface of the projection optical system in the first direction.

[0028]

According to the preferred embodiment of the present invention, an end portion of the final surface of the projection optical system which is adjacent to the liquid recovery nozzle may be linear at a place where a final surface is adjacent to the liquid recovery nozzle.

[0029]

According to the preferred embodiment of the present invention, the final surface of the projection optical system has a rectangular shape.

[0030]

According to the preferred embodiment of the present invention, it is preferable that the exposure apparatus further includes a contiguous member which

continuously extends from the final surface of the projection optical system and has a surface opposing the substrate stage, wherein the outlet port of the liquid supply nozzle is arranged in the opposing surface.

[0031]

According to the preferred embodiment of the present invention, it is preferable that the exposure apparatus further includes a contiguous member which continuously extends from the final surface of the projection optical system and has a surface opposing the substrate stage, wherein the outlet port of the liquid supply nozzle and the inlet port of the liquid recovery nozzle are arranged in the opposing surface.

[0032]

According to the preferred embodiment of the present invention, it is preferable that the liquid supply unit has a nozzle group arranged in one line or in a plurality of lines as liquid supply nozzles and has an on-off unit for independently controlling the supply and stop of the liquid from the nozzle group. Here, the on-off unit may control the supply and stop of the liquid using each nozzle of the nozzle group depending on the presence of the substrate immediately below each nozzle.

[0033]

According to a second aspect of the present invention, there is provided an exposure apparatus which projects and transfers a pattern on a master to a substrate through a projection optical system, the apparatus including a substrate stage which holds and moves the substrate, a flat plate which has a height substantially equal to the height of the substrate on the substrate stage, a liquid supply unit which supplies a liquid to between the final surface of the projection optical system and the substrate or the flat plate and a liquid recovery unit which recovers a liquid from between the final surface of the projection optical system and the substrate or the flat plate.

[0034]

According to the preferred embodiment of the present invention, it is preferable that the flat plate is adjacent to at least a part of the substrate on the substrate stage.

[0035]

According to the preferred embodiment of the present invention, the flat plate may have a suction port to suck a liquid on the flat plate and/or the flat plate may have a liquid supply port to supply a liquid to the flat plate. Alternatively, the flat plate may have an open flow path to supply or suck a liquid on the flat plate.

[0036]

According to the preferred embodiment of the present invention, the exposure apparatus may include a driving mechanism to move the flat plate below the final surface of the projection optical system.

[0037]

According to the preferred embodiment of the present invention, it is preferable that the substrate stage drives the flat plate to below the final surface of the projection optical system.

[0038]

According to a third aspect of the present invention, there is provided an exposure apparatus which projects and transfers a pattern on a master to a substrate through a projection optical system, the apparatus including a substrate stage which holds and moves the substrate, a contiguous member which has a liquid contact surface continuously extended from the final surface of the projection optical system and a liquid supply unit which supplies a liquid to between the final surface and the liquid contact surface and the substrate through an outlet port on the liquid contact surface.

[0039]

According to the preferred embodiment of the present invention, it is preferable that the exposure apparatus further includes a liquid recovery unit which recovers a liquid between the final surface and the liquid contact surface and the substrate.

[0040]

According to the preferred embodiment of the present invention, it is preferable that the liquid recovery unit recovers a liquid between the final surface and the liquid contact surface and the substrate through an inlet port on the liquid contact surface.

[0041]

According to the preferred embodiment of the present invention, the contiguous member may be a part of a lens barrel which supports the projection optical system.

[0042]

According to the preferred embodiment of the present invention, it is preferable that the exposure apparatus further includes a projecting portion projecting to a side of the substrate stage in an end portion of the liquid contact surface.

[0043]

According to the preferred embodiment of the present invention, it is preferable that the exposure apparatus further includes a liquid recovery unit which recovers a liquid between the final surface and the liquid contact surface and the substrate through an inlet port on a surface of which the projecting portion faces the substrate stage.

[0044]

According to a fourth aspect of the present invention, there is provided an exposure apparatus which projects and transfers a pattern on a master to a substrate through a projection optical system, the apparatus including a substrate stage which holds and moves the substrate, a contiguous member which has a liquid contact surface continuously extended from the final surface of the projection optical system, a liquid supply unit which supplies a liquid to a gap between the final surface and the substrate through a liquid supply port around the final surface, a liquid recovery unit which recovers a liquid from a gap between the final surface and the substrate through a liquid recovery port around the final surface and a gas outlet port which is arranged to surround the liquid supply port and the liquid recovery unit and discharges a gas so as to cover around the substrate.

[0045]

According to the preferred embodiment of the present invention, it is preferable that the exposure apparatus further includes a gas recovery port which surrounds the gas outlet port and recovers a gas discharged from the gas outlet port.

[0046]

According to the first to fourth aspects of the present invention, the exposure apparatus may be a scanning exposure apparatus which transfers the pattern on the master to the substrate while the substrate stage moves.

[0047]

According to the first to fourth aspects of the present invention, the exposure apparatus starts a liquid supply operation through the liquid supply nozzle when the substrate moves to switch shot regions.

[0048]

According to a fifth aspect of the present invention, there is provided an exposure method of projecting and transferring a pattern on a master to a substrate through a projection optical system, the method including a step of forming a liquid film on a surface of the substrate by a liquid supply nozzle arranged in a first direction supplying a liquid to a surface of the substrate seen from a perimeter of the projection optical system and the projection optical system and supplying the liquid continuously to the surface of the substrate through the liquid supply nozzle so as to spread the liquid film continuously in accordance with the movement of the substrate while the substrate moves in a second direction opposite to the first direction.

[0049]

According to the preferred embodiment of the present invention, the exposure method may be implemented such that the pattern on the master is transferred to the substrate by slit light while the substrate moves.

[0050]

According to the preferred embodiment of the present invention, the exposure method may be implemented such that the liquid film is formed before the pattern on the master is transferred to the substrate or while the pattern on the master is transferred to the substrate many times.

[0051]

According to a sixth aspect of the present invention, there is provided an exposure method of projecting and transferring a pattern on a master to a substrate through a projection optical system, the method including the steps of transferring the pattern on the master to the substrate in a state in which a gap between a final surface of the projection optical system and the substrate is filled with the liquid; and moving a flat plate below the final surface in a state in which a liquid is filled below the final surface of the projection optical system.

[0052]

According to the preferred embodiment of the present invention, it is preferable that the exposure method further includes a step of removing the substrate from the substrate stage in a state in which the flat plate is positioned below the final surface of the projection optical system after the step of moving. The exposure method may further include a step of placing a new substrate on the substrate stage after the removing step.

[0053]

According to a seventh aspect of the present invention, there is provided an exposure apparatus which projects a pattern on a master to a substrate through a projection optical system, the apparatus including a substrate stage which holds and moves the substrate and a liquid supply unit which supplies a liquid to the substrate with nozzles facing the substrate on the substrate stage, wherein a liquid film is formed between the projection optical system and the substrate by moving the substrate by the substrate stage and supplying liquid to the substrate by the liquid supply unit.

[0054]

According to the preferred embodiment of the present invention, it is preferable that the exposure apparatus further includes an opposing member facing the substrate so as to form a substantially uniform liquid film of a liquid from the liquid supply unit.

[0055]

According to an eighth aspect of the present invention, there is provided an exposure apparatus which projects a pattern on a master to a substrate through a projection optical system, the apparatus including a substrate stage which holds and moves the substrate, a liquid film forming unit which forms a liquid film between the

projection optical system and the substrate on the substrate stage and a flat plate which supports the liquid film by the liquid film forming unit instead of the substrate.

[0056]

According to a ninth aspect of the present invention, there is provided an exposure apparatus which projects a pattern on a master to a substrate through a projection optical system, the apparatus including a substrate stage which holds and moves the substrate, a liquid supply unit which supplies a liquid to a gap between the projection optical system and the substrate on the substrate stage, a liquid recovery unit which recovers a liquid from the gap and a gas outlet unit which discharges a gas to the substrate so as to surround the gap.

[0057]

According to a tenth aspect of the present invention, there is provided an exposure method of projecting a pattern on a master through a projection optical system, the method including a step of supplying a liquid to the substrate by a liquid supply unit which has nozzles facing the substrate on the substrate stage and forming a liquid film between the projection optical system and the substrate by moving the substrate by the substrate stage.

[0058]

According to an eleventh aspect of the present invention, there is provided an exposure method of projecting a pattern on a master through a projection optical system, the method including the steps of forming a liquid film between the projection optical system and the substrate and replacing the substrate with a flat plate while holding the liquid film formed in the forming step.

[0059]

According to a twelfth aspect of the present invention, there is provided a device manufacturing method including a step of manufacturing a device using the exposure apparatus according to any one of the seventh to ninth aspects.

Embodiments

[0060]

An exposure apparatus according to the present invention is useful to, e.g., all exposure methods and exposure apparatuses that use ultraviolet light as exposure light and uses immersion in which the gap between a projection optical system and a substrate (e.g., a wafer) is filled with a liquid. These exposure apparatuses can include, e.g., one which projects and transfers a pattern on a master onto a substrate while the substrate is in a stationary state and one which performs scanning exposure for a substrate to a pattern on a master using slit light while synchronously scanning the substrate and master.

[0061]

A preferred embodiment of the present invention will be illustrated below. Fig. 1 is a view schematically showing the arrangement of the preferred embodiment of the present invention. In Fig. 1, light emitted from an exposure light source (not shown) such as an ArF excimer laser or F₂ laser is supplied to an illumination optical system 2. The illumination optical system 2 uses the light supplied from the exposure light source to illuminate part of a reticle (master) 1 with slit light (light having a sectional shape as if it passed through a slit). While illuminating the reticle 1 with the slit light, a reticle stage (master stage) 3 holding the reticle 1 and a wafer stage (substrate stage) 10 holding a wafer (substrate) 9 perform scanning movement in synchronism with each other. Through this synchronous scanning, an image of the entire pattern on the reticle 1 is continuously formed on the wafer 9 through a projection optical system 4 to expose to light a resist applied to the surface of the wafer 9.

[0062]

The two-dimensional positions of the reticle stage 3 and wafer stage 10 are measured in real time by a reference mirror 11 and distance measurement laser interferometer 12, respectively. A stage control apparatus 13 performs alignment and synchronous control for the reticle 1 (reticle stage 3) and wafer 9 (wafer stage 10) on the basis of measurement values from the reference mirror 11 and distance measurement laser interferometer 12. The wafer stage 10 incorporates a driving unit which adjusts, changes, or controls the vertical position, rotational direction, and tilt of the wafer 9. In exposure, the driving unit controls the wafer stage 10 such that an exposure region on the wafer 9 precisely coincides with the focal plane of the projection optical system 4. The position (vertical position and tilt) of the upper surface of the wafer 9 is measured by an optical focus sensor (not shown) and is supplied to the stage control apparatus 13.

[0063]

An exposure apparatus main body is placed in an environment chamber (not shown), and the environment of the exposure apparatus main body is kept at a predetermined temperature. Temperature-controlled air for air conditioning is separately supplied to a space surrounding the reticle stage 3, wafer stage 10, and distance measurement laser interferometer 12 and a space surrounding the projection optical system 4, thereby maintaining the ambient temperature at higher precision.

[0064]

In this embodiment, immersion in which the space or gap between the projection optical system 4 and the wafer 9 is filled with a liquid is implemented by a liquid supply nozzle 5 arranged above the wafer 9 and in the vicinity of the projection optical system 4 and a liquid recovery nozzle 6 opposing the liquid supply nozzle 5 through the projection optical system 4.

[0065]

Immersion to be performed in this embodiment will be described below in detail. The liquid supply nozzle 5 is arranged upstream in a direction in which the wafer 9 is scanned during exposure and in the vicinity of the projection optical system 4. For example, if the wafer is to be moved from right to left, i.e., leftward (second direction), the upstream of the scanning direction is on the right (first direction) which is an opposite direction thereof. More specifically, if the scanning direction (second direction) is indicated by an arrow, the direction of the starting point of the arrow (first direction) is the upstream. The liquid recovery nozzle 6 opposes the liquid supply nozzle 5 (i.e., downstream in the scanning direction) through the projection optical system 4.

[0066]

The liquid supply nozzle 5 is connected to a liquid supply unit 7 through a supply pipe 16. Similarly, the liquid recovery nozzle 6 is connected to a liquid recovery unit 8 through a recovery pipe 17. The liquid supply unit 7 can include a tank which stores a liquid, a pressure feed unit which feeds the liquid, and a flow controller which controls the supply flow rate of the liquid. The liquid supply unit 7 preferably further includes a temperature controller for controlling the supply temperature of the liquid. The liquid recovery unit 8 can include, e.g., a tank which temporarily stores a recovered liquid, a suction unit which sucks the liquid, and a flow controller for controlling the recovery flow rate of the liquid. An immersion controller 18 receives information such as the current position, velocity, acceleration, target position, and moving direction of the wafer stage 10 from the stage control apparatus 13 and gives instructions to start or stop immersion, control the flow rate, and the like to the liquid supply unit 7 and liquid recovery unit 8 on the basis of this information.

[0067]

As an immersion liquid, one which absorbs little exposure light is selected. The immersion liquid desirably has a refractive index almost equal to that of a dioptric element made of, e.g., quartz or fluorite. More specifically, examples of the immersion liquid include pure water, functional water, a fluorinated solution (e.g., fluorocarbon), and the like. A dissolved gas is preferably well removed from the immersion liquid using a degasifier. This aims at suppressing generation of air bubbles and immediately absorbing any generated air bubbles in the liquid. For example, if nitrogen and oxygen, which are contained in large quantity in the environmental gas, are removed from the liquid by 80% or more of the maximum permissible gas content of the liquid, generation of air bubbles can sufficiently be suppressed. The exposure apparatus may be provided with a degasifier (not shown) and may supply a liquid to the liquid supply unit 7 while removing a gas dissolved in

the liquid. As the degasifier, e.g., a vacuum degasifier is preferably used. This vacuum degasifier supplies a liquid to one side of a gas-permeable film, evacuates the other side to a vacuum, and traps a gas dissolved in the liquid into the vacuum through the film.

[0068]

A step of filling a liquid between the projection optical system 4 and the wafer 9 will be described with reference to Fig. 2.

[0069]

While the wafer 9 is in a stationary state or is moving, the liquid supply nozzle 5 supplies a liquid f onto the wafer 9 at, e.g., a constant flow rate to bring the liquid into intimate contact with the lower surface of the liquid supply nozzle 5 and the upper surface of the wafer 9. With this operation, a satisfactory liquid film is formed (Fig. 2(a)).

[0070]

The wafer 9 starts moving or further moves while continuously supplying the liquid from the liquid supply nozzle 5. The movement of the wafer 9 is used to guide the liquid film below the projection optical system 4 without breaking the liquid film (formed in Fig. 2(a)) (Figs. 2(b) and 2(c)).

[0071]

When the wafer 9 further moves to reach an exposure start position, scanning exposure using slit light starts (Fig. 2(d)). During the slit exposure, the liquid supply nozzle 5 continuously supplies the liquid, as described with reference to Fig. 2(c), and the liquid recovery nozzle 6 starts recovering the liquid flowing from the downstream side (on the left in Fig. 2) of a scanning direction S with respect to the projection optical system 4. With this operation, a space between the wafer 9 and the projection optical system 4 is stably filled with the liquid (Fig. 2(d)).

[0072]

When the wafer 9 further moves to reach an exposure end position, the exposure using the slit light ends (e). Upon completion of the exposure using the slit light, the liquid supply nozzle 5 stops supplying the liquid (Fig. 2(e)). The liquid recovery nozzle 6 recovers the liquid left on the wafer 9 while moving the wafer 9 in the scanning direction S (Figs. 2(f) and 2(g)).

[0073]

If the liquid is continuously supplied onto the surface of the wafer 9 while moving the wafer 9 such that a liquid film expands along with the movement of the wafer 9, as described above, the gap between the final surface of the projection optical system 4 and the wafer 9 can be filled with a continuous liquid film (liquid film without breaking). This method can more reliably form a liquid film in the gap between the projection optical system and the wafer even when the gap is small and

can reduce air bubbles in the liquid film, than a method disclosed in Patent Document 2 of directing a nozzle toward the gap between the projection optical system 4 and the wafer 9 and supplying a liquid toward the gap. Also, according to this method, the liquid film moves at a lower velocity than the wafer and thus can reliably be recovered through the liquid recovery nozzle 6. Thus, outward splashes of the liquid can effectively be prevented.

[0074]

A sequence for supplying and recovering a liquid as described above may be performed for each exposure shot region (each transfer of a reticle image). Alternatively, the sequence may be performed for all or some of the exposure shot regions on the wafer as a unit. In the latter case, supply and recovery of a liquid may be or may not be performed during stepping of the wafer between the exposure shot regions.

[0075]

The above-mentioned immersion can be applied to an exposure apparatus which exposes a wafer while the wafer is in a stationary state (e.g., a so-called stepper). In this case, when, e.g., the wafer is stepped between exposure shot regions, supply and recovery of a liquid is preferably controlled so as to expand a liquid film between an exposure shot region to be exposed next and the lower surface of the projection optical system 4.

[0076]

Preferred examples of the detailed structures and layout of the liquid supply nozzle 5 and liquid recovery nozzle 6 will be described with reference to Figs. 3 to 7.

[0077]

Fig. 3 is a plan view as seen from above, obtained by cutting the exposure apparatus in Fig. 1 above the wafer 9. The liquid supply nozzle 5 is arranged upstream (in the -X direction as seen from the projection optical system 4), in a moving direction S (in the +X direction as seen from the projection optical system 4) of the wafer 9, to sandwich a final surface 4s of the projection optical system 4 while the liquid recovery nozzle 6 is arranged downstream (in the +X direction as seen from the projection optical system 4). When the exposure apparatus is a scanner (scanning exposure apparatus), the moving direction of the wafer 9 is desirably the same as the scanning direction of the wafer in exposure in order to stably form a liquid film.

[0078]

The liquid supply nozzle 5 is preferably arranged such that its lower surface (lower end) is flush with or higher than the final surface (lower surface) 4s of the projection optical system 4. With this arrangement, a liquid can move together with the wafer in intimate contact with the final surface of the projection optical system 4 while eliminating an air layer. This prevents inclusion of air bubbles in a liquid film.

[0079]

The liquid recovery nozzle 6 is preferably arranged such that its lower surface (lower end) is flush with or higher than the final surface (lower surface) 4s of the projection optical system 4. With this arrangement, a liquid on the wafer can efficiently be recovered while preventing a failure to recover the liquid (incomplete recovery).

[0080]

A total length L1 of an outlet port through which the liquid supply nozzle 5 discharges a liquid is preferably equal to or larger than a length Le of a region through which exposure light beams pass and is more preferably equal to or larger than the width of the final surface 4s of the projection optical system 4. A length L2 of the liquid recovery nozzle 6 is preferably equal to or larger than the length L1 of the liquid discharge port of the liquid supply nozzle 5 and is more preferably equal to or larger than the width of the final surface 4s of the projection optical system.

[0081]

A flow rate V of a liquid to be supplied from the liquid supply nozzle 5 to a space (immersion space) between the wafer 9 and the lower surface of the projection optical system 4 is desirably determined in accordance with equation (1):

[0082]

$$V \geq L1 \cdot d \cdot v \quad \dots \text{Equation(1)}$$

where d is an interval of the space filled with liquid between the wafer and the final surface (lower surface) of the projection optical system 4, and v is a moving velocity of the wafer in immersion and is a scanning velocity of the wafer in scanning exposure.

[0083]

Letting μ be a mean flow velocity of a liquid, to be supplied from the liquid supply nozzle 5 to the immersion space, at the liquid discharge port of the liquid supply nozzle 5, the flow rate V of the liquid is given by equation (2):

[0084]

$$V = L1 \cdot w \cdot \mu \quad \dots \text{Equation(2)}$$

where w is a width of the liquid discharge port. Equation (3) is derived from equations (1) and (2):

[0085]

$$\mu \geq d \cdot v / w \quad \dots \text{Equation(3)}$$

More generally, the flow rate of the liquid to be supplied is preferably determined such that the mean flow velocity of the liquid at the liquid discharge port of the liquid supply nozzle 5 (i.e., the supply flow rate per unit area of the discharge port) is equal to or larger than the quotient obtained by dividing, by the width w of the discharge port, the product of the interval d of the gap between the final surface 4s of

the projection optical system and the wafer 9 and the moving velocity v of the wafer stage 10. In the strict definition, w is the minimum of the width of the liquid discharge port along the moving direction of the wafer 9 in the corresponding liquid supply nozzle 5.

[0086]

To start exposure from an end portion of the wafer, a liquid film needs to be sufficiently grown below the final surface (lower surface) 4s of the projection optical system 4 before the end portion of the wafer reaches an exposure region (region to be irradiated with exposure light). In the arrangement example shown in Fig. 3, a flush plate (flat plate) 19 almost flush with the wafer 9 is provided outside the wafer 9. This makes it possible to form a liquid film outside the wafer 9.

[0087]

Fig. 4 is a view showing the second arrangement example of the structures and layout of the liquid supply nozzle 5 and liquid recovery nozzle 6. The second arrangement example shown in Fig. 4 is different from the first arrangement example shown in Fig. 3 in that the ports of the liquid supply nozzle 5 and liquid recovery nozzle 6 are arranged within the surfaces (opposing surface opposing the wafer stage or wafer) of contiguous members 20a and 20b.

[0088]

The bottom surfaces (opposing surfaces) of the contiguous members 20a and 20b are almost flush with the final surface 4s of the projection optical system. The edge of the final surface 4s is so arranged as to come into intimate contact with the perimeter portion of the lens barrel of the projection optical system 4. With this arrangement, an interval between the wafer 9 and the bottom surface of the liquid supply nozzle 5, that between the wafer 9 and the bottom surface of the liquid recovery nozzle 6, and that between the wafer 9 and the final surface 4s of the projection optical system can be made almost equal to each other, and the bottom surface of the liquid supply nozzle 5, the final surface 4s of the projection optical system, and the bottom surface of the liquid recovery nozzle 6 can constitute contiguous surfaces.

[0089]

This arrangement, in which the liquid supply nozzle 5 and liquid recovery nozzle 6 are arranged within planes contiguous to the final surface 4s of the projection optical system, has the following advantage. More specifically, a liquid supplied from the liquid supply nozzle 5 comes into intimate contact with the wafer 9 and the bottom surface of the contiguous member 20a, in which the liquid supply nozzle 5 is open, to form a liquid film. This liquid film together with the wafer 9 moves toward the final surface 4s of the projection optical system, which is contiguous to the bottom surface of the contiguous member 20a. The liquid film can smoothly advance to the final

surface 4s of the projection optical system 4 and then to the bottom surface of the contiguous member 20b. In this manner, the final surface 4s of the projection optical system and the members 20a and 20b contiguous to the final surface 4s make it possible to fill the almost entire gap between them and the wafer 9 with a liquid.

[0090]

Since a liquid film always moves together with the wafer 9 while its upper and lower surfaces are in intimate contact with planes, contact of the liquid film with the environment (gas) is substantially limited to the side surfaces of the liquid film, and thus the contact area of the liquid film with the gas is small. The liquid film flows through almost a constant gap and hardly changes in velocity. For this reason, the flow of the liquid film hardly disorders, and air bubbles are unlikely to be generated in the liquid film. Also, this reduces dissolution of a gas in a liquid and can suppress generation of micro-bubbles in the liquid film due to a change in temperature or a local change in pressure.

[0091]

The contiguous members 20a and 20b may be like a thin plate or block, or may have any other shape as far as their bottom surfaces (lower surfaces) are contiguous to the final surface (lower surface) 4s of the projection optical system 4. The contiguous members 20a and 20b may be formed as portions integrated into the bottom surfaces of the nozzles 5 and 6 and/or the bottom surface of the lens barrel of the projection optical system 4.

[0092]

Fig. 5 is a view showing the third arrangement example of the structures and layout of the liquid supply nozzle 5 and liquid recovery nozzle 6. The third arrangement example shown in Fig. 5 is different from the second arrangement example shown in Fig. 4 in that the liquid supply nozzles 5 (5a and 5b) are arranged on both sides, respectively, of the final surface 4s, and the liquid recovery nozzles 6 (6a and 6b) are arranged on both sides, respectively, of the final surface 4s of the projection optical system.

[0093]

The liquid supply nozzles 5a and 5b are arranged relatively nearer to the final surface 4s of the projection optical system 4 so as to sandwich the projection optical system 4. On the other hand, the liquid recovery nozzles 6a and 6b are arranged relatively farther from the final surface 4s of the projection optical system 4, i.e., outside the liquid supply nozzles 5a and 5b.

[0094]

While the wafer 9 moves in the +X direction indicated by an arrow shown in Fig. 5, the liquid supply nozzle 5a supplies a liquid to the gap between the wafer 9 and the final surface 4s, and the liquid supply nozzle 5b does not supply the liquid. At this

time, the liquid recovery nozzle 6b can recover most of the liquid. However, the liquid may flow in a direction opposite to the liquid recovery nozzle 6b, depending on the flow rate of the liquid to be supplied from the liquid supply nozzle 5a. Under the circumstances, in addition to the liquid recovery nozzle 6b, the liquid recovery nozzle 6a is operated to recover the liquid flowing in the opposite direction. This can prevent splashes or spills of the liquid. In consideration of this effect, preferably, liquid recovery nozzles are arranged around the perimeter of the final surface 4s so as to surround the perimeter of the final surface 4s of the projection optical system and are operated in supplying a liquid from the liquid supply nozzles.

[0095]

While the wafer 9 moves in the -X direction indicated by an arrow shown in Fig. 5, the liquid supply nozzle 5b supplies a liquid, and the liquid supply nozzle 5a does not supply the liquid, contrary to the above-mentioned case. In this manner, the gap between the wafer 9 and the final surface 4s of the projection lens can always be filled with the liquid, regardless of the moving direction of the wafer. By switching the supply of the liquid between both the nozzles 5a and 5b, even when the moving direction of the wafer is reversed, the gap between the wafer 9 and the final surface 4s of the projection lens can be filled with the liquid without breaking the liquid film (without dividing the liquid film).

[0096]

The shape of the final surface 4s of the projection lens need not be circular. For example, if the final surface 4s is oval, and portions facing the nozzles are linear, as shown in Fig. 5, the liquid supply nozzles 5a and 5b and liquid recovery nozzles 6a and 6b can be brought near to the optical path of exposure light beams. This can reduce the time required to fill the gap with the liquid and the moving distance of the wafer. In the case of a scanner, exposure light beams are slit-shaped on the surface of the wafer, and light beams each having a sectional shape which is short in the scanning direction and is long in a direction perpendicular to the scanning direction are used in the final surface 4s of the projection lens, which is close to the wafer surface. The final surface of the projection optical system 4 can be formed into a shape which is narrow in the scanning direction such as an oval, in accordance with the sectional shape of the light beams. The shape of the final surface of the projection optical system is not limited to an oval, and the final surface can have various shapes such as a rectangle, an arc (a part of a circle), and the like.

[0097]

Fig. 6 is a view showing the fourth arrangement example of the structures and layout of the liquid supply and liquid recovery nozzles. In the fourth arrangement example shown in Fig. 6, liquid supply nozzles 5a to 5d are provided on all sides surrounding the final surface 4s of the projection optical system, and liquid recovery

nozzles 6a to 6d are further provided so as to surround the liquid supply nozzles 5a to 5d. When the wafer moves in the +X direction indicated by an arrow shown in Fig. 6, the liquid supply nozzle 5a arranged upstream in the moving direction of the wafer supplies a liquid. When the wafer moves in the -X direction indicated by an arrow shown in Fig. 6, the liquid supply nozzle 5b supplies the liquid. Also, when the wafer moves in the +Y direction indicated by an arrow, a liquid supply nozzle 5c supplies the liquid. When the wafer moves in the -Y direction indicated by an arrow, a liquid supply nozzle 5d supplies the liquid.

[0098]

Since most of the liquid is recovered by the liquid recovery nozzles arranged downstream in the moving direction of the wafer, only the downstream recovery nozzles may be made to operate. However, simultaneous operation of all the four liquid recovery nozzles 6a to 6c at least while they are supplying the liquid in preparation for unexpected events such as malfunctioning can more reliably prevent splashes or spills of the liquid. Instead of providing a plurality of liquid recovery nozzles, one liquid recovery nozzle may be provided around the perimeter of the final surface 4s of the projection optical system so as to surround the sides. The flow rate of the liquid to be supplied from the liquid supply nozzles 6a to 6c is preferably determined in accordance with equation (3). With the above-mentioned arrangement, the moving direction of the wafer is not limited to the X or Y direction, and even if the wafer moves diagonally, the liquid film can be maintained.

[0099]

As described above, a plurality of liquid supply nozzles are so arranged as to surround the final surface 4s of the projection optical system, and one or more liquid supply nozzles for use in supply are switched between the liquid supply nozzles such that the liquid supply nozzles arranged upstream in the moving direction (the opposite side of the moving direction as seen from the projection optical system) supply the liquid in wafer movement. With this operation, the gap between the final surface 4s of the projection optical system and the wafer can always be filled with the liquid regardless of the moving direction of the wafer. As a result, the gap between the wafer 9 and the final surface 4s of the projection lens can be filled with the liquid without breaking the liquid film not only during scanning exposure but also during stepping within the surface of the wafer or in changing the moving direction of the wafer. This makes it possible to, in one wafer, fill the gap between the final surface 4s of the projection optical system and the wafer 9 with the liquid without breaking the liquid film from the start of the exposure to when exposure of the entire wafer is completed. Consequently, the need for forming a liquid film for every shot is eliminated, and the productivity of the exposure apparatus greatly increases.

[0100]

Fig. 7 is a view showing the fifth arrangement example of the structures and layout of the liquid supply nozzles and liquid recovery nozzles. In this arrangement example, the liquid supply nozzles 5a to 5h and the liquid recovery nozzles 6a to 6h are so arranged on circumferences as to surround the perimeter of the final surface 4s of the projection optical system. The liquid supply nozzles are arranged inside the liquid recovery nozzles. The nozzles on the circumferences make it possible to fill the gap between the final surface of the projection optical system and the wafer with the liquid by supplying the liquid from one arranged almost upstream in the moving direction and recovering the liquid by at least one arranged downstream of the moving direction, even when the wafer stage 10 moves diagonally.

[0101]

For example, when the wafer moves at an angle of 45° from the +X and +Y directions, as indicated by an arrow shown in Fig. 7, the nozzles are preferably controlled such that at least the liquid supply nozzles 5b and 5c supply the liquid while at least the liquid recovery nozzles 6f and 6g recover the liquid. The layout of the nozzles on the circumferences makes it possible to more flexibly form a corresponding liquid film in various moving directions of the wafer. Fig. 7 shows the plurality of divided liquid recovery nozzles. However, simultaneous operation of all the liquid recovery nozzles 6a to 6h at least while they are supplying the liquid in preparation for unexpected events such as malfunctioning can more reliably prevent splashes or spills of the liquid, as described in the fourth arrangement example. Instead of providing a plurality of liquid recovery nozzles, only one liquid recovery nozzle may be provided around the perimeter of the final surface 4s of the projection optical system so as to surround the perimeter.

[0102]

When the gap between the wafer and the final surface 4s of the projection lens is not filled with the liquid or when there is still gas in the gap due to incomplete filling with the liquid, the liquid is preferably supplied from upstream in the moving direction of the wafer, as has been described above. On the other hand, after the gap between the wafer 9 and the final surface 4s of the projection lens is completely filled with the liquid, all liquid supply nozzles may supply the liquid regardless of the moving direction of the wafer. In this case, the flow rate of the liquid to be supplied and that of the liquid to be recovered increase, and the running cost increases. On the other hand, supply nozzle switching need not be performed frequently, and the time required for switching is saved, thereby increasing the productivity of the exposure apparatus. Also, the need for a driving unit which switches between the supply nozzles at high speed is eliminated, and the size of each liquid supply unit can be reduced. Control of liquid supply is not limited to the arrangement example shown in

Fig. 7 and can be applied to the nozzle arrangements shown in Figs. 5 and 6. In this case as well, the same effect can be obtained.

[0103]

In the arrangement example shown in Fig. 7, the flow rate of the liquid supplied from the liquid supply nozzles may be basically determined by applying equation (3) to each liquid supply nozzle. For the sake of simplicity, the liquid can be supplied uniformly from all the liquid supply nozzles at the same flow rate. In the arrangement example shown in Fig. 7, since the discharge ports of the liquid supply nozzles are arranged concentrically about the exposure light beams, the width of the liquid supply port is set to have a constant value w' regardless of the moving direction of the wafer. A total flow rate V' is preferably determined in accordance with equation (4):

[0104]

$$V' \geq \pi \cdot D \cdot d \cdot v \quad \dots \text{Equation(4)}$$

where π is the circular constant, D is the average diameter of the discharge ports, d is an interval between the wafer and the final surface of the projection optical system, and v is the moving velocity of the wafer during immersion.

[0105]

Another preferred embodiment of the present invention will be described with reference to Figs. 8 and 9. Fig. 8 is a plan view of a wafer stage 10 as seen from above nozzles arranged on a final surface 4s of a projection optical system and its surroundings. The discharge ports of a liquid supply nozzle 5 and liquid recovery nozzle 6 are so arranged as to oppose a wafer 9, and they should be drawn by hidden lines (broken lines) in this plan view as seen from above, according to proper drawing. For the sake of illustrative simplicity, the discharge ports are drawn by solid lines.

[0106]

A flat plate 21 is provided adjacent to the wafer 9 chucked on the wafer stage 10. The flat plate 21 is so arranged as to be almost flush with the upper surface of the wafer 9, which is fixed on the wafer stage 10 by vacuum chucking or the like. A wafer transport apparatus (not shown) is provided to recover/mount the wafer 9 from/onto the wafer stage 10 when the flat plate 21 is located immediately below the final surface 4s of the projection optical system.

[0107]

The steps in this embodiment will be described with reference to Fig. 9. Fig. 9 shows operation of the units in order of the steps, using the cross-sectional view of the main part of Fig. 8.

[0108]

During exposure, a liquid is supplied from the liquid supply nozzle 5 as needed and is recovered by the liquid recovery nozzle 6. In the meantime, the gap between the wafer 9 and the final surface 4s of the projection optical system is kept in a state in which the gap is always filled with the liquid (Fig. 9(a)). After an exposure sequence for one wafer 9 ends, the wafer stage 10 is moved such that the flat plate 21, which is adjacent to the wafer 9, is located immediately below the final surface 4s of the projection optical system (Fig. 9(b)). In moving the wafer stage 10, the liquid supply nozzle 5 continuously supplies the liquid while the liquid recovery nozzle 6 continuously recovers the liquid. With this operation, even when the flat plate 21 is located below the final surface 4s of the projection optical system, a space below the final surface 4s of the projection optical system is always filled with the liquid. While keeping this state, the exposed wafer 9, which is chucked and fixed on the wafer stage 10, is recovered from the wafer stage 10 to a wafer storage unit (not shown). In addition, a new wafer 9' is mounted on the wafer stage 10 and is chucked and fixed on the wafer stage 10 (Fig. 9(c)).

[0109]

The wafer stage 10 is moved while the liquid supply nozzle 5 continuously supplies the liquid, and the liquid recovery nozzle 6 continuously recovers the liquid. The wafer 9' is fed immediately below the final surface 4s of the projection optical system while filling the space below the final surface 4s with the liquid (Fig. 9(d)).

[0110]

This movement of the flat plate 21 to an exposure position while continuously supplying and recovering the liquid even after the exposure makes it possible to recover most of the liquid on the wafer. Accordingly, wafer replacement can smoothly be performed without any special liquid recovery operation, and the productivity of exposure apparatuses can be increased. Since the final surface 4s of the projection optical system is always filled with the liquid regardless of whether the wafer replacement is being performed, no impurity contained in the ambient atmosphere directly comes into contact with the final surface 4s of the projection optical system. Additionally, the contact area between the liquid and the air is minimized, and thus the amount of impurities to be absorbed in the liquid can be minimized. Thus, any cloud due to the impurities can be suppressed in the final surface 4s of the projection optical system.

[0111]

When the liquid is recovered every time wafer replacement is performed, a thin liquid film is temporarily attached to the surface of the final surface 4s of the projection optical system. If the liquid is pure water or the like, inorganic components or hydrophilic organic components contained in the environment are likely to be absorbed in the film of pure water. After the pure water evaporates, the inorganic

components or organic components are highly likely to remain on the surface of the projection optical system, thereby causing a cloud.

[0112]

As shown in Figs. 9(b) and 9(c), during replacement of wafers on the wafer stage 10, a liquid film is maintained between the final surface 4s of the projection optical system and the flat plate 21. Immediately before this state, the liquid film had come into contact with the surface of a photosensitive agent applied to the wafer and had received exposure light. When the photosensitive agent is exposed, components contained in the photosensitive agent are released in any event as gas-like substances, and these gas-like substances may be dissolved in the liquid film, which is in contact with the upper surface of the photosensitive agent.

[0113]

Immediately after the exposure, the gas-like substances are dissolved in the liquid film, and the liquid film is contaminated. The liquid film is preferably replaced with a new one before the start of the next exposure. Otherwise, the dissolved impurities change the transmittance of the liquid film and adversely affect exposure amount control. Degradation in productivity of exposure apparatuses such as variation increase in line width may occur. Furthermore, the dissolved impurities may be supersaturated and may appear as air bubbles, thereby causing poor imaging. The impurities dissolved in the liquid film cause a chemical reaction by exposure light, and may cause clouds in the final surface of the projection optical system. Under the circumstances, these problems and solutions to them will be considered.

[0114]

While the liquid supply nozzle 5 continuously supplies a new liquid, and the liquid recovery nozzle 6 continuously recovers the liquid, the liquid film will be replaced with the new liquid even when the replacement rate is low. Accordingly, in some cases, only supply and recovery by the nozzles 5 and 6 may increase the purity of the liquid film to a level enough for the next exposure on the wafer 9 or flat plate 21. If the flow rate of the supply or recovery is increased immediately after exposure and is returned to the original flow rate immediately before exposure, the purity of the liquid film can further be improved. In this case, if the wafer 9 and flat plate 21 are moved along with a change in flow rate, and the moving velocities of the wafer 9 and flat plate 21 are changed along with the change in flow rate, the replacement rate of the liquid film increases. Supplying and recovering the liquid while reciprocating or rotating the wafer 9 or flat plate 21 is more preferable because liquid films can be replaced continuously.

[0115]

This increase or decrease in supply flow rate and recovery flow rate may be performed for every shot region or every wafer. The interval between executions or

timings of execution may be changed as needed. Even if the exposure process is not performed, outgassing can occur depending on the material for the photosensitive agent to be used. In some cases, just contact of a liquid film with the photosensitive agent can cause contamination to develop. In other cases, outgassing may occur in large amounts with respect to the necessary exposure amount. Hence, a liquid film may be easily contaminated more than expected.

[0116]

Under the circumstances, as another method of more actively replacing a liquid film below the final surface of the projection optical system with a new liquid, a suction port 22 may be provided at an appropriate position such as the center of the flat plate 21, as shown in Fig. 8. Suction units (not shown) such as a suction pump and cylinder are connected to the suction port 22 to suck a gas or liquid. More specifically, as shown in Fig. 10, a liquid is recovered from the suction port 22 while the flat plate 21 is fed immediately below the final surface 4s of the projection optical system. At the same time, the flow rate to be supplied from the liquid supply nozzle 5 is increased by at least the same amount as the flow rate to be sucked from the suction port 22. With this operation, most the liquid film below the final surface 4s of the projection optical system flows not externally in the radius direction (toward the liquid recovery nozzle 6) but toward the suction port 22 at the center. Even when the flat plate 21 is in a stationary state, the liquid film can always continuously be replaced with a new liquid (Figs. 10(b) and 10(c)).

[0117]

With the above-mentioned arrangement, the replacement rate of the liquid below the final surface 4s of the projection optical system drastically increases. Liquid film replacement is performed not on a photosensitive agent susceptible to contamination but on the flat plate 21, which can employ a material that is resistant to chemical contamination and can maintain the cleanliness with ease. For this reason, a gap below the final surface 4s of the projection optical system can be filled with a liquid of high purity. Thus, influences such as a cloud of impurities in the outer air or impurity gas components generated from the surface of the photosensitive agent onto the final surface of the projection optical system can effectively be suppressed.

[0118]

Liquid film replacement on the flat plate 21 as shown in Figs. 9 and 10 is not limited to wafer replacement. The liquid film replacement can be performed as needed even during an exposure sequence of one wafer regularly or irregularly.

[0119]

In the arrangement example shown in Figs. 9 and 10, the flat plate 21 is arranged on the wafer stage. When a wafer is transferred between the wafer stage and a wafer transport apparatus (not shown), the flat plate 21 is located immediately

below the final surface 4s of the projection optical system. However, the flat plate 21 may be arranged to be located immediately below the final surface of the projection optical system even when various operations necessary before and after exposure or various operations necessary for maintaining and managing the exposure apparatus, such as an alignment measurement step with an off-axis microscope (not shown) before exposure are performed. If a plurality of flat plates 21 or a plurality of suction ports 22 need to be arranged at a plurality of wafer stage positions immediately below the final surface of the projection optical system, the plurality of flat plates or a plurality of suction ports may be arranged on the wafer stage. Like the flush plate 19 shown in Fig. 3, the flat plate may be so arranged as to surround the wafer. Alternatively, a plurality of suction ports may be provided in the flat plate at the positions each of which opposes the final surface of the projection optical system during the respective steps.

[0120]

In Figs. 9 and 10, the flat plate 21 is arranged on the wafer stage 10. A dedicated driving unit (not shown) may be provided such that the flat plate 21 can move independently of the wafer stage 10. In this case, the flat plate 21 should be driven so as not to form a large gap between the flat plate 21 and the wafer 9, which is chucked and fixed on the wafer stage 10. For example, when shifting from the state in Fig. 9(a) to that in Fig. 9(b) or when shifting from the state in Fig. 9(c) to that in Fig. 9(d), the wafer stage 10 and flat plate 21 should be so driven as to move near the final surface of the projection optical system while keeping a positional relationship to be adjacent to each other. At least while the gap between the wafer and the flat plate 21 passes immediately below the final surface of the projection optical system, the flat plate 21 must be kept flush with the upper surface of the wafer.

[0121]

After a liquid film is moved to between the final surface of the projection optical system and the flat plate 21, the flat plate 21 maintains the position while the wafer stage 10 arbitrarily changes the position. With this operation, the flat plate 21 and wafer stage 10 can perform various steps. By providing a mechanism which moves the flat plate 21 independently of the wafer stage 10, as described above, a space below the final surface of the projection optical system can be filled with a liquid during a period when the wafer stage 10 is used for various operations other than exposure. Also, this mechanism eliminates the need for a plurality of flat plates or suction ports or increasing the size of the flat plate, and thus the size of the exposure apparatus can be reduced.

[0122]

An illuminance uniformity sensor for measuring the illuminance distribution of exposure light or an absolute illuminance meter for measuring the absolute

illuminance of the exposure light may be provided at an appropriate position of the flat plate 21. In this case, illuminance uniformity and absolute illuminance can be measured while a space below the final surface of the projection optical system is continuously filled with a liquid without temporarily recovering the liquid and in almost the same immersion state as during exposure. Illuminance uniformity and absolute illuminance can be measured precisely without deterioration in the productivity of the exposure apparatus. As described above, the flat plate preferably moves independently of the wafer stage in views of productivity. In the case of a scanning exposure apparatus, an illuminance uniformity sensor is preferably arranged on the wafer stage together with the flat plate because the cumulative illuminance uniformity during scanning can be measured.

[0123]

Use of a function of sucking a gas or liquid from the suction port 22 makes it possible to generate an initial liquid film on the final surface 4s of the projection optical system more quickly. A method of generating an initial liquid film using the suction port 22 will be described with reference to Fig. 11.

[0124]

First, the flat plate 21 is moved such that the suction port 22 is located immediately below almost the center of the liquid supply nozzle 5, which is so arranged as to surround the perimeter of the final surface 4s of the projection lens. In this state, a liquid is supplied onto the flat plate 21 from the entire perimeter of the liquid supply nozzle 5 (Fig. 11(a)).

[0125]

The supplied liquid forms an annular liquid film f in accordance with the location of the liquid supply nozzle 5 between parallel planes (contiguous members) 20 including the final surface 4s of the projection lens and the flat plate 21 while a gas g remains at the center. If the liquid is merely continuously supplied in this manner, the gas g is trapped by the liquid film f, and the gas g is not discharged outside. Accordingly, the space below the final surface 4s of the projection lens cannot completely be filled with the liquid indefinitely.

[0126]

Under the circumstances, the gas g is sucked through the suction port 22 while the liquid is annually supplied from the liquid supply nozzle 5 to the space below the final surface 4s. This suction makes the pressure of the gas g more negative than the pressure of the outer environment. The difference in pressure causes a force to act on the liquid film formed around the perimeter of the gas g from the perimeter to the suction port 22, and the liquid film starts spreading quickly toward the suction port 22 (Fig. 11(b)). The suction through the suction port 22 is continued. When the liquid starts to be sucked through the suction port 22, the gap between the final surface 4s of

the projection optical system and flat plate 21 is filled with a liquid film without the gas g (Fig. 11(c)).

[0127]

The suction from the suction port 22 is stopped. While the suction is stopped, supply of a liquid from the liquid supply nozzle 5 may be stopped when the wafer stage 10 is stopped. However, when the liquid is in a stationary state, a gas constituting the environment or an impurity is always absorbed in the liquid. Then, the number of air bubbles or the concentration of an impurity increases, troubles may occur. More specifically, air bubbles may not disappear and may remain until exposure, micro-bubbles may be generated by exposure, or the final surface of the projection optical system may be clouded by the absorbed impurity. To prevent these troubles, it is preferable to continuously supply a liquid even while the wafer stage 10 is kept stopped and recover the liquid by at least the liquid recovery nozzle 6 while the liquid is kept supplied.

[0128]

During a period from Fig. 11(a) to Fig. 11(c), the liquid recovery nozzle 6 may be stopped. To prevent the liquid from externally splashing due to vibrations, a sudden change in liquid supply amount, or the like, the liquid recovery nozzle 6 is preferably always operated.

[0129]

Finally, the wafer stage 21 is moved such that the wafer 9 is located immediately below the final surface of the projection optical system while continuously supplying and recovering the liquid (Fig. 11(d)).

[0130]

As described above, by sucking the gas or liquid, if an annular liquid film is grown toward the center, a liquid film free from air bubbles can be formed more quickly, and the productivity of the exposure apparatus can be increased. This method does not require movement of the stage. This method is suitable as a method of generating a large-area liquid film when a projection optical system with a larger numerical aperture is adopted.

[0131]

With the suction port 22, the liquid film can be recovered quickly. More specifically, when the liquid film is transferred to between the final surface 4s of the projection optical system and the flat plate 21, supply of the liquid from the liquid supply nozzle 5 is stopped, and the liquid is recovered from the suction port 22. With this operation, most of the liquid film between the final surface 4s of the projection optical system and flat plate 21 can quickly be recovered. At this time, to more completely recover the liquid, the liquid may be sucked while moving the wafer stage 10. With the recovery function of the liquid film, the liquid film can be recovered

immediately. For this reason, maintenance and inspection operation of the apparatus, and remedy operation against failure can be quickly be performed without any delay.

[0132]

The method of quickly generating an initial liquid film using the suction port 22 formed in the flat plate 21 has been described with reference to Fig. 11. Aside from this method, even when a liquid inlet port 23 is provided in the flat plate 21 instead of the suction port 22, and a liquid is supplied from a liquid supply unit (not shown) through the liquid inlet port 23, as shown in Fig. 12, the initial liquid film can quickly be generated to be described later. More specifically, in Fig. 12, the flat plate 21 is moved such that the liquid inlet port 23 is located immediately below almost the center of the liquid supply nozzle 5, which is so arranged as to surround the perimeter of the final surface 4s of the projection lens. In this state, the liquid is supplied onto the flat plate 21 through the liquid inlet port 23. The supplied liquid forms a small liquid film between the final surface 4s of the projection lens and the flat plate 21 including the liquid inlet port 23 (Fig. 12(a)).

[0133]

When the liquid is further supplied through the liquid inlet port 23, the small liquid film f spreads radially (Fig. 12(b)), and the gap between the final surface 4s of the projection optical system and the flat plate 21 is supplied with the liquid.

[0134]

The liquid is recovered as needed through the liquid recovery nozzle 6. This prevents the liquid from leaking from the flat plate 21 or final surface 4s of the projection optical system (Fig. 12(c)).

[0135]

Use of the liquid inlet port 23 also makes it possible to continuously fill the liquid film below the final surface of the projection optical system with new liquid without externally splashing or leaking the liquid while the flat plate 21 is in a stationary state, as described with reference to Fig. 10. More specifically, the liquid is supplied from the liquid inlet port 23, and at the same time, the liquid is recovered through the liquid recovery nozzle 6. At this time, supply of the liquid from the liquid supply nozzle 5 is preferably stopped.

[0136]

With this operation, the space between the flat plate 21 and the final surface 4s of the projection optical system starts to be filled with a liquid from almost the center. This can make the contact area with the ambient gas smaller than a method of filling the liquid from the perimeter of the final surface 4s of the projection optical system using the suction port 22. A gas dissolved in the initial liquid film or an impurity contained in the gas can be reduced. For this reason, more stable exposure/resolving

performance can be obtained, and the effect of suppressing a cloud caused by an impurity can further be increased.

[0137]

The suction port 22 shown in Figs. 10 and 11 may be provided in the flat plate 21, in addition to the liquid inlet port 23. The liquid inlet port 22 may be used to generate an initial liquid film or perform liquid film replacement while the suction port 23 may be used to recover the liquid for replacing the liquid film portion with the ambient gas. A single opening portion can implement both of the functions of the liquid inlet port 23 and those of the suction port 22. More specifically, a suction unit (not shown) and liquid supply unit (not shown) may communicate with an opening formed in the flat plate 21 through a switching valve, and the switching valve may be switched, thereby switching between the functions of the suction port 22 and those of the liquid inlet port 23 as needed. This can reduce the size of the flat plate 21.

[0138]

Use of the flat plate 21, suction port 22, and liquid inlet port 23 described with reference to Figs. 8 to 12 is not limited to a combination with the liquid supply nozzle or liquid recovery nozzle described explicitly in this specification. For example, the flat plate 21, suction port 22, and liquid inlet port 23 can be used in combination with various liquid supply and recovery mechanisms such as a liquid supply pipe and liquid recovery pipe disclosed in WO99/49504.

[0139]

Fig. 13 is a perspective view showing the sixth arrangement example of the structures and layout of a liquid supply nozzle and liquid recovery nozzle. The arrangement example shown in Fig. 13 is different from the arrangement example shown in Fig. 6 in that a peripheral portion (projecting portion) 20c is provided outside the perimeter of a liquid contact surface 20a on which the liquid supply nozzles 5 are arranged and nearer to the wafer than the liquid contact surface 20a, i.e., there is a step. The liquid recovery nozzles 6 are arranged annularly on the peripheral portion 20c.

[0140]

Since the peripheral portion 20c is arranged outside the perimeter of the liquid contact surface 20a on which a liquid film of the final surface 4s of the projection optical system is formed and nearer to the wafer than the liquid contact surface 20a, a liquid is unlikely to escape outside the liquid contact surface 20a. This can reduce the ability to recover a liquid through the liquid recovery nozzles 6 and can reduce the sizes of the liquid recovery nozzles 6 and a liquid recovery unit 8. In the arrangement example shown in Fig. 13, each liquid recovery nozzle 6 is arranged on the peripheral portion 20c. However, the liquid recovery nozzles may be arranged on, e.g., the

liquid contact surface 20a or may be arranged on both of the liquid contact surface 20a and peripheral portion 20c to more reliably recover the liquid.

[0141]

In the arrangement example shown in Fig. 13, the peripheral portion 20c, which is raised from the liquid contact surface 20a inside the peripheral portion 20c, surrounds the perimeter of the final surface 4s of the projection optical system. For example, if the moving direction of the wafer is limited, the peripheral portion 20c or stepped portion may be arranged only on the downstream side of the moving direction of the wafer. In this case, the length of the peripheral portion 20c or stepped portion is desirably equal to or larger than that of the liquid recovery nozzle.

[0142]

Each of the ports of the liquid supply nozzles 5 and liquid recovery nozzles 6 may be arranged as a mere opening. However, to reduce place nonuniformity of the liquid supply amount or recovery amount and prevent liquid dripping, a porous plate or porous member with fine pores is preferably provided to each port. A porous member formed by sintering a fibrous or particulate (powder) metal material or inorganic material is particularly preferable. As a material for the porous plate or member (a material used for at least the surface), stainless, nickel, alumina, and quartz glass are preferable in views of affinity for pure water or a fluorinated solution used as an immersion medium.

[0143]

Fig. 14 is a perspective view of the seventh arrangement example of the structures and layout of the liquid supply nozzle and liquid recovery nozzle. The arrangement example shown in Fig. 14 is different from the first to sixth arrangement examples in that an inert gas outlet unit 24 is provided at the outermost portion, which surrounds the final surface 4s of the projection optical system.

[0144]

The inert gas outlet unit (outlet ring) 24 communicates with an inert gas supply unit (not shown) and is arranged to eject an inert gas toward the wafer or flat plate arranged below at almost a constant rate. While a liquid film is formed between the final surface 4s of the projection optical system and the wafer or flat plate, an inert gas is ejected from the inert gas outlet unit 24. By applying a pressure to the liquid film with the inert gas from the perimeter side, a liquid constituting the liquid film can be prevented from externally splashing. This functions effectively particularly when the wafer or flat plate moves. The supply of the inert gas presses the liquid film toward the center, and thus the liquid film can be prevented from attaching to the surface of the wafer or the flat plate and remaining on it. The supply of the inert gas can also dry the surface of the wafer or flat plate. If the inert gas is used only to dry the wafer or flat plate, the pressure of the inert gas may be low.

[0145]

To suppress place nonuniformity in the ejecting rate between locations, a porous plate or porous member may be provided to the outlet port of the inert gas outlet unit 24, like the liquid supply nozzle 5. If the inert gas outlet unit 24 includes a slit nozzle which ejects an inert gas through a fine gap of about 0.1 mm, the consumption amount of the inert gas can be suppressed.

[0146]

With the above-mentioned arrangement, a liquid can more reliably be prevented from remaining on the upper surface of the wafer or flat plate. This eliminates the need for a unit or operation to recover the remaining liquid and contributes to increasing the productivity of exposure apparatuses and preventing an increase in apparatus size in wafer replacement and maintenance. In addition, supply of an inert gas can reduce a period when the surface of a photosensitive agent applied to the upper surface of the wafer is kept wet and can immediately dry the surface of the photosensitive agent. The dependence on the wet state, which influences a development step after exposure of the photosensitive agent, can be minimized. Thus, the photosensitive agent can be expected to have stable resolving performance.

[0147]

In the arrangement example shown in Fig. 14, the liquid supply nozzle 5 and liquid recovery nozzle 6 are arranged on the liquid contact surface 20a, which is almost flush with the final surface 4s of the projection optical system. The peripheral portion 20c is arranged outside the liquid supply nozzle 5 and liquid recovery nozzle 6 nearer to the wafer than the liquid contact surface 20a, and the inert gas outlet unit 24 is arranged on the peripheral portion 20c. The inert gas outlet unit nearer to the wafer than the liquid contact surface 20a makes it possible to obtain a large pressure difference with a relatively small gas flow rate, suppress the running cost of the exposure apparatus, and minimize influences of the inert gas on the outside. The effect of the inert gas outlet unit can be obtained even if the inert gas outlet unit 24 is arranged within the liquid contact surface 20a. In the arrangement examples shown in Figs. 3 to 5, an inert gas outlet unit whose length is longer than that of the liquid supply nozzle 5 or liquid recovery nozzle 6 can be provided outside the liquid supply nozzle 5 and liquid recovery nozzle 6 and upstream in the moving direction of the wafer.

[0148]

Assume that a gas suction portion (suction ring) (not shown) is provided around the perimeter of the inert gas outlet unit 24 shown in Fig. 14 to suck and recover an inert gas ejected from the inert gas outlet unit 24 and discharge the sucked inert gas to a place which does not influence the surroundings of the exposure region. In this case, influences of the inert gas on the surroundings of the exposure region can

be minimized. A typical example of the influences of the inert gas on the surroundings of the exposure region will be described. For example, the inert gas flows into the optical path of an interferometer which measures the position of a wafer stage or the optical path of an optical focus sensor, components of the gas in the optical path become nonuniform in views of time or space. This causes fluctuating measurement values and results in a measuring error.

[0149]

As the inert gas, air or nitrogen from which moisture or an impurity such as an organic substance, acidic gas, or alkaline gas that may cause clouds in an optical system or may influence a photosensitive agent is sufficiently removed is appropriately used. Particularly use of nitrogen can prevent oxygen in the outer air from dissolving in the liquid with which the space below the final surface of the projection optical system is filled. This use can prevent the contact surface with the liquid from being oxidized and corroded when pure water or functional water is employed as the liquid.

[0150]

Fig. 15 is a view showing a preferred arrangement example of the liquid supply nozzle 5. The outlet port of each of the liquid supply nozzles 5 shown in Figs. 3 to 8, 13, and 14 has a slit-like shape. On the other hand, in the arrangement example shown in Fig. 15, one nozzle unit (discharge unit) 5 has n (a plurality of) nozzles $J1$ to Jn . These nozzles $J1$ to Jn are connected to the liquid supply unit 7 through on-off valves $V1$ to Vn , respectively. By switching the operation of each of the on-off valves $V1$ to Vn corresponding to the nozzles $J1$ to Jn , supply of a liquid can be started/stopped separately.

[0151]

Such nozzles may be arranged not only in one line but in a plurality of lines. In this case, the supply flow rate can be increased, and a liquid film can be formed to have a complicated shape.

[0152]

The nozzle unit 5 including a plurality of nozzles can be controlled in the following manner. When immersion is to be performed from the peripheral border of the wafer, as shown in Fig. 16, only the on-off valves corresponding to ones of the plurality of nozzles under which the wafer is positioned are opened to supply the liquid. As the wafer moves, the on-off valves corresponding to ones of the plurality of nozzles under which the wafer comes are sequentially opened to further supply the liquid onto the wafer. This can prevent the liquid from leaking from the wafer. This reduces the unit load for recovering the liquid.

[0153]

Fig. 16 shows a case wherein the wafer moves and enters a region below the line of nozzles. The same applies to a case wherein the wafer comes off the region below the line of nozzles. Alternatively, a flush plate may be provided outside the wafer. In this case, supply of the liquid from each nozzle only needs to be controlled in accordance with the edge of the flush plate. This can minimize the size of the flush plate. As a result, the moving distance of the wafer stage can be reduced, and the size of the apparatus can be reduced.

[0154]

In the arrangement example shown in Fig. 15, supply/stop of the liquid from each unit of the nozzle unit 5 is controlled by opening/closing the corresponding on-off valve. Alternatively, a function of discharging/stopping droplets can be embedded in each nozzle of the nozzle unit, as in, e.g., an ink-jet printer. In addition to continuous supply of the liquid, a substantially continuous liquid film can be formed on the wafer by discharging droplets at a high frequency. More specifically, the structures and functions of, e.g., a BUBBLE JET (registered trademark) nozzle, thermal jet nozzle, or piezo-jet nozzle can be used.

[0155]

According to the preferred embodiment of the present invention, in a projection exposure apparatus using immersion, a liquid film can be generated between a final surface of the projection optical system and a substrate in a short period of time without splashing droplets. Also, generation of micro-bubbles during projection exposure can be suppressed. In addition, the need for operation of separately recovering the liquid for each substrate, for each alignment step before exposure, or for each step of maintaining the performance of the exposure apparatus is eliminated. The final surface of the projection optical system can be coated with a liquid always having high purity, and the contact area with the ambient atmosphere can be reduced. Accordingly, a predetermined exposure and resolving performance can stably be obtained, and clouds due to an impurity contained in the environment or photosensitive agent can be suppressed or prevented. This allows high-precision and stable projection exposure without increasing the scale of an exposure apparatus and decreasing the productivity of the exposure apparatus. A fine pattern can be transferred onto a substrate stably and satisfactorily.

[0156]

The manufacturing process of a semiconductor device using the above-mentioned exposure apparatuses will be described using a device such as a micro device as an example. Fig. 17 shows the flow of the whole manufacturing process of the semiconductor device. In step 1 (circuit design), a semiconductor device circuit is designed. In step 2 (mask formation), a mask based on the designed circuit pattern is formed.

[0157]

In step 3 (wafer manufacture), a wafer is manufactured by using a material such as silicon. In step 4 (wafer process) called a preprocess, an actual circuit is formed on the wafer with the above-mentioned exposure apparatus by lithography using the prepared mask and wafer. Step 5 (assembly) called a post-process is the step of forming a semiconductor chip by using the wafer formed in step 5, and includes an assembly process (dicing and bonding) and packaging process (chip encapsulation). In step 6 (inspection), the semiconductor device manufactured in step 5 undergoes inspections such as an operation confirmation test and durability test of the semiconductor device manufactured in step 5. After these steps, the semiconductor device is completed and shipped in step 7.

[0158]

The wafer process in step 4 includes the following steps. More specifically, the wafer process includes an oxidation step of oxidizing the wafer surface, a CVD step of forming an insulating film on the wafer surface, an electrode formation step of forming an electrode on the wafer by vapor deposition, an ion implantation step of implanting ions in the wafer, a resist processing step of applying a photosensitive agent to the wafer, an exposure step of transferring the circuit pattern onto the wafer having undergone the resist processing step using the above-mentioned exposure apparatus, a development step of developing the wafer exposed in the exposure step, an etching step of etching a portion except for the resist image developed in the development step, and a resist removal step of removing an unnecessary resist after etching. These steps are repeated to form multiple circuit patterns on the wafer.

[0159]

The present invention can increase the practicality of an exposure apparatus and an exposure method using immersion and, for example, more reliably fill the gap between the final surface of a projection optical system and a substrate with a liquid, reduce the possibility of the final surface of the projection optical system being influenced by its surroundings, simplify the structure of an exposure apparatus and reduce the size of the exposure apparatus.

Brief Description of the Drawings

Fig. 1

Fig. 1 is a view schematically showing the arrangement of a preferred embodiment of the present invention;

Fig. 2

Fig. 2 is a view schematically showing steps of filling with a liquid the gap between a projection optical system and a wafer according to the preferred embodiment of the present invention;

Fig. 3

Fig. 3 is a view showing the first arrangement example of a liquid supply nozzle and liquid recovery nozzle in an exposure apparatus according to the preferred embodiment of the present invention;

Fig. 4

Fig. 4 is a view showing the second arrangement example of the liquid supply nozzle and liquid recovery nozzle in the exposure apparatus according to the preferred embodiment of the present invention;

Fig. 5

Fig. 5 is a view showing the third arrangement example of the liquid supply nozzle and liquid recovery nozzle in the exposure apparatus according to the preferred embodiment of the present invention;

Fig. 6

Fig. 6 is a view showing the fourth arrangement example of the liquid supply nozzle and liquid recovery nozzle in the exposure apparatus according to the preferred embodiment of the present invention;

Fig. 7

Fig. 7 is a view showing the fifth arrangement example of the liquid supply nozzle and liquid recovery nozzle in the exposure apparatus according to the preferred embodiment of the present invention;

Fig. 8

Fig. 8 is a view schematically showing part of the arrangement of another preferred embodiment of the present invention;

Fig. 9

Fig. 9 is a view showing steps of feeding a flat plate below a projection optical system in an exposure apparatus according to another preferred embodiment of the present invention;

Fig. 10

Fig. 10 is a view showing another step of feeding the flat plate below the projection system in the exposure apparatus according to another preferred embodiment of the present invention;

Fig. 11

Fig. 11 is a view showing a step of generating a liquid film below the projection optical system in the exposure apparatus according to the preferred embodiment of the present invention;

Fig. 12

Fig. 12 is a view showing another step of generating a liquid film below the projection optical system in the exposure apparatus according to the preferred embodiment of the present invention;

Fig. 13

Fig. 13 is a view showing the sixth arrangement example of the liquid supply nozzle and liquid recovery nozzle in the exposure apparatus according to the preferred embodiment of the present invention;

Fig. 14

Fig. 14 is a view showing the seventh arrangement example of the liquid supply nozzle and liquid recovery nozzle in the exposure apparatus according to the preferred embodiment of the present invention;

Fig. 15

Fig. 15 is a view showing an arrangement example of a nozzle unit (nozzle unit including a plurality of nozzles) in the exposure apparatus according to the preferred embodiment of the present invention;

Fig. 16

Fig. 16 is a view showing an application of the nozzle unit shown in Fig. 15;
and

Fig. 17

Fig. 17 is a flowchart showing the whole manufacturing process of a semiconductor device.

Description of Symbols

- 1: RETICLE
- 2: ILLUMINATION OPTICAL SYSTEM
- 3: RETICLE STAGE
- 4: PROJECTION OPTICAL SYSTEM
- 4S: FINAL SURFACE OF PROJECTION OPTICAL SYSTEM
- 5, 5A, 5B, 5C, 5D, 5E, 5F, 5G, 5H: LIQUID SUPPLY NOZZLE
- 6, 6A, 6B, 6C, 6D, 6E, 6F, 6G, 6H: LIQUID RECOVERY NOZZLE
- 7: LIQUID SUPPLY UNIT
- 8: LIQUID RECOVERY UNIT
- 9: WAFER
- 10: WAFER STAGE
- 11: REFERENCE MIRROR
- 12: DISTANCE MEASUREMENT LASER INTERFEROMETER
- 13: STAGE CONTROL APPARATUS
- 14, 15: SURFACE PLATE
- 16: SUPPLY PIPE
- 17: RECOVERY PIPE
- 18: IMMERSION CONTROLLER
- 19: FLUSH PLATE

20, 20A, 20B: CONTIGUOUS MEMBERS (LIQUID CONTACT SURFACE)

20C: PERIPHERAL PORTION

21: FLAT PLATE

22: SUCTION PORT

23: LIQUID INLET PORT

24: INERT GAS OUTLET UNIT

F: LIQUID FOR IMMERSION

G: GAS

EA: EXPOSURE SLIT REGION

J1, J2...JN: NOZZLE

V1, V2...VN: ON-OFF VALVE

Fig. 1

WAFER SCANNING DIRECTION

Fig. 17

S1: CIRCUIT DESIGN

S2: MASK FORMATION

S3: WAFER MANUFACTURE

S4: WAFER PROCESS

S5: ASSEMBLY

S6: INSPECTION

S7: SHIPPING